Begriff	Symbol	Größenbeziehungen	Dimension	Einheiten
Zeit	t	—	T	s, min, Std., Tag
Periode	T	$T = 1/\nu$	T	s, min, Std., Tag
Frequenz	ν	$\nu = 1/T$	T^{-1}	Hz, kHz, M[ega]-Hz; 1 Hz = 1 Schwingung/s
Länge	l, $\mathfrak{l}$ (r, s)	—	L	10^8 Å = 10^4 μm = 1 cm = 0,01m = 10^{-5} km
Fläche	F	$F = l_1 \cdot l_2$ (bei Rechtecken)	L^2	Quadrate von l
Rauminhalt	V	$V = l_1 \cdot l_2 \cdot l_3$ (bei Quadern)	L^3	Kuben von l
Masse	m	—	M	1000 mg = 1 g = 0,001 kg = 10^{-6} t
Dichte	ϱ	$\varrho = m/V$	L^{-3} M	g/cm³
Geschwindigkeit	$\mathfrak{v}$	$\mathfrak{v} = \mathfrak{l}/t$	LT^{-1}	1 m/s = 3,6 km/h
Impuls	$\mathfrak{w}$	$\mathfrak{w} = m \cdot \mathfrak{v}$	LMT^{-1}	—
Beschleunigung	$\mathfrak{b}$	$\mathfrak{b} = d\mathfrak{v}/dt$	LT^{-2}	1 cm/s² = 1 Gal
Erdbeschleunigung	$\mathfrak{g}$	$\mathfrak{g} = f \cdot M/R^2$ (M = Erdmasse, R = Erdradius, $f = 6{,}7 \cdot 10^{-11}\,m^3 kg^{-1} s^{-2}$)	LT^{-2}	cm/s² oder m/s²
Kraft (mechanisch)	$\mathfrak{k}$	$\mathfrak{k} = m \cdot \mathfrak{b}$ $= f \cdot m_1 \cdot m_2/\mathfrak{l}^2$	LMT^{-2}	981 dyn = 1 Pond(p) = 0,001 Kilopond (kp)
Gewicht	$\mathfrak{G}$	$\mathfrak{G} = m \cdot \mathfrak{g}$	LMT^{-2}	wie Kraft
spezif. Gewicht	γ	$\gamma = \mathfrak{G}/V$	$L^{-2}MT^{-2}$	p/cm³
Drehmoment	$\mathfrak{M}$	$\mathfrak{M} = \mathfrak{k} \cdot \mathfrak{l}$	L^2MT^{-2}	—
Druck	$\mathfrak{p}$	$\mathfrak{p} = \mathfrak{k}/F$	$L^{-1}MT^{-2}$	mm Hg, dyn/cm², kp/m², Millibar, Atmosph.
kin. Energie	$E_{kin.}$	$E_{kin.} = \frac{1}{2}\, m\, \mathfrak{v}^2$	L^2MT^{-2}	erg, Wattsek., kWh Meterkilopond, Joule
pot. Energie	$E_{pot.}$	$E_{pot.} = \mathfrak{k} \cdot \mathfrak{l}$; in Gravitationsfeldern $m \cdot \mathfrak{g} \cdot \mathfrak{l}$ ($\mathfrak{l}$ = Hubhöhe)	L^2MT^{-2}	wie kin. Energie
Leistung	N	$N = dE/dt$	L^2MT^{-3}	1000 W = 1 Kilowatt
Temperatur	T	—	—	°C, °R, °F, °K
Wärmemenge	W	$W = c \cdot m \cdot (T_2 - T_1)$ (c = spez. Wärme)	L^2MT^{-2}	1000 cal = 1 kcal
el. Ladung	Q	—	Q	Coulomb (C)
el. Kraft	$\mathfrak{k}_{el.}$	$\mathfrak{k}_{el.} = \frac{Q_1\, Q_2}{4\pi\varepsilon_0 \cdot \mathfrak{l}^2}$ $\varepsilon_0 = 8{,}9 \cdot 10^{-12}$ Coulomb/Volt m	LMT^{-2}	wie mech. Kraft
el. Spannung	U	$U = Q/4\pi\varepsilon_0 \mathfrak{l}$	$L^2MT^{-2}Q^{-1}$	1000 mV = 1 Volt
el. Energie	$E_{el.}$	$E_{el.} = Q \cdot U$	L^2MT^{-2}	Ws, kWh
Stromstärke	I	$I = Q/t$	$T^{-1}Q$	1000 mA = 1 Amp
el. Widerstand	R	$R = U/I$	$L^2MT^{-1}Q^{-2}$	1000 Ω = 1 Kiloohm
el. Leistung	$N_{el.}$	$N_{el.} = U \cdot I = I^2 \cdot R$	L^2MT^{-3}	1000 W = 1 Kilowatt
Kapazität	C	$C = Q/U$	$L^{-2}M^{-1}T^2Q^2$	10^6 μF = 1 Farad
Induktivität	L_{ind}	$U = -L_{ind} \cdot dI/dt$	L^2MQ^{-2}	1000 mH = 1 Henry

WIE FUNKTIONIERT DAS?

MEYERS ERKLÄRTE TECHNIK

BAND 1

dieses Buch gehört

Peter Lang

Wie funktioniert das?

Meyers erklärte Technik
Band 1

Vorgänge aus allen Bereichen der Technik,
in Wort und Bild erklärt

347 zweifarbige und sechs vierfarbige
Schautafeln, 353 Textseiten
Ausführliches Register

Herausgegeben von der
Fachredaktion Technik des Bibliographischen Instituts
unter Leitung von Johannes Kunsemüller

BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT · MANNHEIM

ALLGEMEINER VERLAG

Alle Rechte vorbehalten · Nachdruck, auch auszugsweise, verboten
© Bibliographisches Institut AG · Mannheim 1963
Gesamtherstellung: Klambt-Druck GmbH, Speyer
(Satz: Zechnersche Buchdruckerei, Speyer)
Printed in Germany
N

VORWORT

Das vorliegende Buch soll dem Leser die Möglichkeit geben, sich über die wichtigsten technischen Anlagen und Geräte rasch zu informieren und ihre Funktionsweisen verstehen zu lernen. Herstellungsverfahren aus den verschiedensten Gebieten wurden mit einbezogen.

Die Themen sind, soweit es möglich war, auf jeweils einer Textseite und der gegenüberliegenden Bildseite in sich geschlossen abgehandelt worden. Bei der Bearbeitung zeigte sich, daß die vielfältigen Verflechtungen der Themen untereinander sowie die häufige Wiederkehr naturwissenschaftlicher Grundtatsachen und technischer Bauelemente Verweise notwendig machten. Einige Themen dienen der Erläuterung physikalischer Grundbegriffe, auf die immer wieder Bezug genommen wird.

Der Schreibung der Fachwörter aus dem Gebiet der Chemie liegen die „Richtlinien für die Nomenklatur der anorganischen Chemie" zugrunde.

Der Verlag dankt seinen Mitarbeitern, die sich freudig der mühevollen Arbeit unterzogen haben, auch schwierige technische Dinge so zu erklären, daß sie selbst dem Nichttechniker verständlich werden. Alle Mitarbeiter wie auch der Verlag halten es für möglich, daß sich das eine oder andere Thema noch besser darstellen ließe. Kritische Hinweise werden wir dankbar begrüßen.

BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT

INHALT

Bernoullische Gleichung 10
Vakuum, Hochvakuum, Ultrahochvakuum 12
Arbeit, Leistung, Energie I 14
Arbeit, Leistung, Energie II 16
Vom Atommodell zur chemischen Formel I 18
Vom Atommodell zur chemischen Formel II 20
Kristalle 22
Osmose (Osmotischer Druck) 24
Destillation 26
Zentrifuge 28
Wärmestrahlung 30
Feuerlöschgeräte 32
Temperaturmeßgeräte 34
Verdunstung, Verdunstungskühle ... 36
Trockeneis 38
Thermostat 40
Pressen 42
Pumpen 44
Kompressoren (Kolbenkompressor) . 46
Luftballon 48
Kleben 50
Heizen, Schornstein 52
Gären und Backen 54
Kohle 56
Erdöl I 58
Erdöl II (Erdöldestillation) 60
Erdgas 62
Stadtgas (Leuchtgas) 64
Natürliches Benzin 66
Synthetisches Benzin 68
Dampfkessel 70
Dampfmaschine 72
Dampfturbinen 74
Gasturbine 76
Wasserturbinen I 78
Wasserturbinen II 80
Brennstoffelement 82
Atomreaktor 84
Elektrostatik I 86
Elektrostatik II 88
Elektrodynamik I 90
Elektrodynamik II 92
Elektrischer Generator (Dynamo) ... 94
Batterie, Akkumulator (Gleichstrom) 96
Wechselstrom, Drehstrom, elektromagnetische Wellen I 98
Wechselstrom, Drehstrom, elektromagnetische Wellen II 100
Wechselstrom, Drehstrom, elektromagnetische Wellen III (Sender, Empfänger) 102
Elektronenröhre 104
Erzeugung höchstfrequenter Schwingungen I 106
Erzeugung höchstfrequenter Schwingungen II 108
Gleichrichter 110
Halbleiter 112
Rundfunkempfänger 114
Lautsprecher 116
Überlandleitung 118
Erdung 120
Transformator 122
Relais 124
Schalter 126
Kurzschluß (Sicherung) 128
Lichtbogen, Bogenlampe 130
Photozellen, Photoelemente 132
Leuchtstofflampe 134
Röntgenstrahlen 136
Kreisbeschleuniger 138
Nachrichtentechnik 140
Telephon und Fernsprechvermittlung 142
Telegraphie, Fernschreiber 144
Radar 146
Photomultiplier 148
Magisches Auge 150
Schwarzweißfernsehen 152
Ikonoskop (Fernsehkameraröhren) .. 154
Braunsche Röhre 156
Bildwandler 158
Eidophorgerät 160
Stroboskopische Erscheinungen 162
Reflexion, Brechung und Beugung des Lichtes 164
Linsen 166
Spiegel 168
Brille 170
Lupe und Mikroskop 172
Elektronenmikroskop 174
Fernrohre I 176
Fernrohre II (Prismenfernglas) 178
Photoapparate (Übersicht) 180
Photographische Objektive 182
Brennweite und Abbildungsgröße ... 184
Wechselobjektive 186
Verschlüsse mit Blitzsynchronisation I (Zentralverschluß) 188
Verschlüsse mit Blitzsynchronisation II (Schlitzverschluß) 190
Lichtstärke eines Objektivs 192
Farbdruck 195
Farbfernsehen 198
Farbphotographie 200
Automatische Belichtungssteuerung . 206

Schärfentiefe (Tiefenschärfe) 208
Belichtungsmesser 210
Blitzlampen und Blitzleuchten 212
Elektronenblitzgerät 214
Entfernungsmesser 216
Filmkamera 218
Filmprojektor 220
Breitbildverfahren I (CinemaScope) .. 222
Breitbildverfahren II (Todd-AO- und Cineramaverfahren) 224
Projektionsgeräte 226
Elektrophotographie 228
Schwarzweißfilm 230
Lärm, Lautstärke 232
Resonanz, Echo 234
Dopplereffekt 236
Ultraschall 238
Pfeifen 240
Vermessung I 242
Vermessung II 244
Vermessung III 246
Waagen 248
Uhr 250
Quarzuhr 252
Atomuhr 254
Barometer 256
Elektrizitätszähler (Arbeitsmesser) ... 258
Gaszähler 260
Wassermessung 262
Brunnen 264
Wehre und Talsperren 266
Wasseraufbereitung 268
Wasserversorgung 270
Stadtentwässerung, Kläranlage, Rieselfeld 272
Ziegelei 274
Portlandzement 276
Beton I 278
Beton II (Stahlbeton, Spannbeton) .. 280
Kunststein 282
Das Mauern 284
Bogen und Gewölbe 286
Dachkonstruktionen 288
Verbindungsmittel des Stahlbaus I (Schrauben, Niete) 290
Verbindungsmittel des Stahlbaus II (Schweißen) 292
Brücken 294
Wärmeschutz und Isolierung 296
Flaschenzug 298
Preßlufthammer 300
Kräne 302
Blitzableiter 304
Aufzüge (Fahrstuhl und Paternoster) 306
Warmwasserheizung (Schwerkraftheizung) 308
Warmwasserheizung mit Zwangsumlauf (Pumpenwarmwasserheizung) 310
Dampfheizung 312
Gasheizung 314
Wärmepumpe 316
Absperrorgane 318
Türschloß 320
Sicherheitsschloß 322
Klingel 324
Schutzkontakt (Schukostecker und Steckdose) 326
Elektrischer Türöffner 326
Türschließer 328
Toilette (Wasserspülung) 330
Klimaanlage 332
Ventilator (Turboverdichter) 334
Zimmeröfen 336
Durchlauf-Gaswasserheizer 338
Thermische elektrische Haushaltgeräte I 340
Thermische elektrische Haushaltgeräte II 342
Thermische elektrische Haushaltgeräte III 344
Gasherd und Gassicherung 346
Kühlschränke 348
Staubsauger 350
Nähmaschine 352
Glühlampe 354
Bügeleisen 356
Zündholz 358
Schreibmaschinen I 360
Schreibmaschinen II 362
Registrierkasse 364
Rechenmaschine 366
Hollerith-Lochkartenverfahren 368
Informationsverarbeitung I (Grundlagen 1) 370
Informationsverarbeitung II (Grundlagen 2) 372
Informationsverarbeitung III (Die programmgesteuerte elektronische Rechenanlage) 374
Informationsverarbeitung IV (Rechenprogramm für einen programmgesteuerten Rechner) 376
Informationsverarbeitung V (Übersetzungsprogramm für programmgesteuerten Rechner) 378
Automatische Briefverteilung 380
Füllhalter 382
Druckkugelschreiber 384
Plattenspieler I 386
Plattenspieler II 388
Schallplatte 390
Tonbandgerät I 392
Tonbandgerät II 394
Automaten (Münzprüfer) 396
Gefachautomaten 398
Spielautomaten 400
Musikautomaten 402

Bühne I ... 406
Bühne II ... 408
Hochofen ... 410
Stahl I ... 412
Stahl II ... 414
Walzwerk I ... 416
Walzwerk II (Rohrherstellung) ... 418
Drahtherstellung ... 420
Glockenguß ... 422
Glas ... 424
Plexiglas ... 426
Porzellan ... 428
Email ... 430
Gummi ... 432
Buna ... 434
Vulkanisation ... 436
Holz ... 438
Papier ... 440
Kunststoffe ... 442
Celluloid ... 444
Brikettfabrikation ... 446
Asphalt ... 448
Teer ... 450
Leder ... 452
Müllerei ... 454
Zuckerherstellung ... 456
Butter und Margarine ... 458
Salinenwesen, Steinsalzgewinnung ... 460
Essig ... 462
Brauerei ... 464
Wein ... 466
Schaumwein (Sekt, Champagner) ... 468
Tabak und Tabakwaren ... 470
Speiseeis ... 472
Baumwolle (Samenfaser) und Kapok (Fruchtwandfaser) ... 474
Flachs, Hanf, Jute, Ramie (Stengelfasern) ... 476
Sisal, Manila (Blattfasern) und Kokos (Fruchtfaser) ... 478
Wolle, Reißwolle, Tierhaare ... 480
Seide (Maulbeerseide) und mineralische Faserstoffe ... 482
Zellstoff ... 484
Chemiefasern auf Cellulosebasis I ... 486
Chemiefasern auf Cellulosebasis II ... 488
Rein synthetische Chemiefasern (synthetische Polymere) ... 490
Spinnerei I ... 492
Spinnerei II ... 494
Bindungslehre I ... 496
Bindungslehre II ... 498
Webereivorbereitung ... 500
Weberei ... 502
Wirkerei und Strickerei I ... 504
Wirkerei und Strickerei II ... 506
Ausrüstung und Färberei I ... 508
Ausrüstung und Färberei II ... 510
Reißverschluß ... 512
Waschmittel ... 514
Waschen ... 516
Waschmaschinen ... 518
Chemische Reinigung ... 522
Stärken und Appretieren ... 524
Setzerei I (Handsatz) ... 526
Setzerei II (Maschinensatz, Setzmaschinen) ... 528
Buchdruck (Hochdruckverfahren) ... 530
Tiefdruck ... 532
Flachdruckverfahren I (Stein- und Offsetdruck) ... 534
Flachdruckverfahren II (Lichtdruck) ... 536
Siebdruck ... 538
Vervielfältigung (xerographische Methode) ... 540
Industrielle Buchbinderei ... 542
Schlepper und Schlepperzubehör I ... 544
Schlepper und Schlepperzubehör II ... 546
Mähdrescher ... 548
Rübenvollerntemaschine ... 550
Hochdrucksammelpresse ... 552
Röntgenapparate ... 554
Narkoseapparat ... 556
Automatischer Beatmungsapparat (Pulmomat) ... 558
Elektrokardiographie ... 560
Eiserne Lunge ... 562
Herz-Lungen-Maschine ... 564
Schießpulver ... 566
Sprengstoffe ... 568
Zünder ... 570
Automatisches Gewehr (Gewehr G 3, Kal. 7,62 mm × 51 [NATO]) ... 572
Radioaktivität ... 574
Kreisel ... 576
Fahrrad I (Warum fällt ein Rad nicht um?) ... 578
Fahrrad II (Kraft, Drehmoment, Übersetzung) ... 580
Fahrrad III (Rücktrittbremse und Freilauf) ... 582
Fahrrad IV (Dreigangschaltung) ... 584
Das motorgetriebene Zweirad ... 586
Ottomotoren I ... 588
Ottomotoren II ... 590
Dieselmotor ... 592
Kreiskolbenmotor (Wankel-Motor) ... 594
Einspritzpumpe ... 596
Anlasser ... 598
Vergaser I ... 600
Vergaser II ... 602
Zündverteiler ... 604
Zündkerze ... 606
Kupplung ... 608
Automatische Kupplung ... 610
Wechselgetriebe ... 612
Synchrongetriebe ... 614
Automatisches Getriebe I ... 616

Automatisches Getriebe II 618
Automatisches Getriebe III 620
Ausgleichgetriebe (Differential) 622
Federung, Achsen, Radaufhängung I 624
Federung, Achsen, Radaufhängung II 626
Federung, Achsen, Radaufhängung III 628
Stoßdämpfer 630
Lenkung 632
Bremsen I 634
Bremsen II 636
Scheinwerfer 638
Autohupe 640
Blinker (Bimetallblinkgeber) 642
Tachometer 644
Dampflokomotive 646
Elektrische Lokomotive 648
Diesellokomotive 650
Druckluftbremse 652
Sicherheitsvorrichtungen der Eisenbahn 654
Weichen 656
Stellwerk I (mechanisches Stellwerk) . 658
Stellwerk II (elektrisches Stellwerk) . 660
Fahrplan 662
Straßenbahn 664
Seilbahnen 666
Bergbahnen 668
Alweg-Bahn 670
Rolltreppe 672
Warum schwimmt ein Schiff? 674
Das Segeln 676
Schiffsschraube 678
Navigation I 680
Navigation II 682
Kompaß 684
Warum ein Flugzeug fliegt 686
Überschallgeschwindigkeit 688
Segelflugzeug 690
Hubschrauber 692
Strahltriebwerke I 694
Strahltriebwerke II 696
Vereisung 698
Fallschirm 700
Flugnavigation (Verfahren und Instrumente) I 702
Flugnavigation II 704
Flugnavigation III 706
Luftkissenfahrzeuge (Bodeneffektgeräte) I 708
Luftkissenfahrzeuge (Bodeneffektgeräte) II 710
Raketen I 712
Raketen II 714
Register 716

BERNOULLISCHE GLEICHUNG

Strömt Gas oder eine Flüssigkeit durch ein Rohr mit einer Verengung, dann beobachtet man, daß der Druck p des strömenden Mediums auf die Wand des Rohres im Bereich der Verengung kleiner ist als im Bereich des weiten (normalen) Querschnitts. Bestimmt man die Strömungsgeschwindigkeit im weiten und engen Rohrteil, so findet man, daß die Strömungsgeschwindigkeit v im weiten Rohrteil kleiner als im verengten Teil ist. Die Beziehung zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Rohrquerschnitt ergibt die sog. Kontinuitätsgleichung, die für inkompressible Flüssigkeiten besagt, daß das Produkt aus Rohrquerschnitt F und Strömungsgeschwindigkeit v immer konstant und gleich dem Durchflußvolumen Q (pro Zeiteinheit) ist: $F \cdot v = \text{konst.} = Q$. Bei kleinerem Querschnitt muß also die Geschwindigkeit größer sein, damit Q konstant bleibt.

Druck, Strömungsgeschwindigkeit und Dichte bestimmen die Energie des strömenden Mediums. Die Energie darf sich aber (abgesehen von Verlusten durch Reibung) nicht ändern (Gesetz von der Erhaltung der Energie). Es gilt daher die Energiebilanz: E an Stelle 1 = E an Stelle 2 (Abb. 1). Hieraus folgt für inkompressible (nicht zusammendrückbare) Flüssigkeiten die Bernoullische Gleichung

$$p_1 + \frac{1}{2}\,\varrho\, v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\,\varrho\, v_2^2.$$

p_1 bzw. p_2 bezeichnet den statischen Druck an der Stelle 1 bzw. 2 (Druck auf die Rohrwand), $\frac{1}{2}\,\varrho\, v_1^2$ bzw. $\frac{1}{2}\,\varrho v_2^2$ den Staudruck. Hierbei ist ϱ die Dichte und v_1 bzw. v_2 die Geschwindigkeit der Flüssigkeit oder des Gases. Die Summe aus statischem Druck und Staudruck nennt man den Gesamtdruck; er macht sich in einem der Flüssigkeit entgegengerichteten Rohr bemerkbar und kann so gemessen werden (Pitot-Rohr). Aus der Formel erkennt man: Je höher der statische Druck an einer Stelle ist, desto geringer ist die Geschwindigkeit des strömenden Mediums an dieser Stelle (und umgekehrt). Liegt das System nicht waagerecht, so muß man noch die verschiedenen Höhenlagen der betrachteten Stellen in die Gleichung einführen.

Eine Anwendungsmöglichkeit dieser Gesetze ist in Abb. 2 dargestellt: Wird der statische Druck in der eingeschnürten Stelle geringer als der äußere Luftdruck, so wird aus dem Becherglas Wasser angesaugt, das Glas leert sich schnell. Diesen Effekt benützt man bei der Wasserstrahlpumpe (Abb. 3). Durch die Düse schießt ein Wasserstrahl mit großer Geschwindigkeit in ein erweitertes Rohr. Den Stutzen schließt man an ein geschlossenes Gefäß an. Weil der Wasserstrahl die gesamte in dem Gefäß und in der Leitung befindliche Luft mitreißt und mit sich wegführt, wird der Behälter „luftleer" gepumpt (evakuiert).

Eine Verbesserung dieser Anlage ist der Dampfstrahl-Luftsauger, bei dem anstelle des Wassers Wasserdampf von erhöhtem Druck eingesetzt wird (Abb. 4). Auch das Funktionieren des Tragflügels bei einem Flugzeug (s. S. 686) läßt sich mit der Bernoullischen Gleichung erklären, ebenso die Tatsache, daß in der Duschkabine der Vorhang nach innen gezogen wird, wenn die Brause läuft. Durch das schnell strömende Wasser wird die Luft in der Kabine mitgerissen und bekommt so eine größere Geschwindigkeit als die Luft außerhalb, die ja praktisch in Ruhe ist; die daraus resultierende Druckdifferenz drückt den Vorhang nach innen.

Gase folgen in gewissem Ausmaße wie Flüssigkeiten der Bernoullischen Gleichung. Läßt man eine Gasströmung mit großer Geschwindigkeit am oberen Ende eines Röhrchens, dessen unteres Ende in eine Flüssigkeit taucht, vorbeistreichen, so steigt die Flüssigkeit in dem Röhrchen auf und wird am oberen Ende von der Gasströmung mitgerissen. Dies ist das Funktionsprinzip des Vergasers (siehe S. 600 ff.) und des Parfümzerstäubers (Abb. 5).

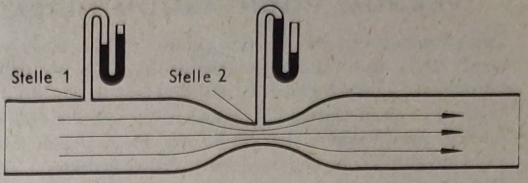


Abb. 1 An einer Einschnürung herrscht kleiner Druck

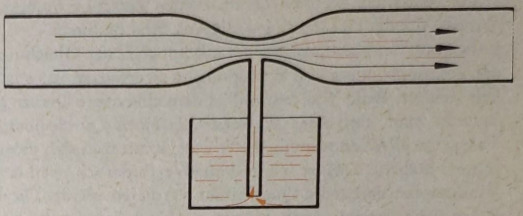


Abb. 2 Durch Unterdruck wird ein Becherglas geleert

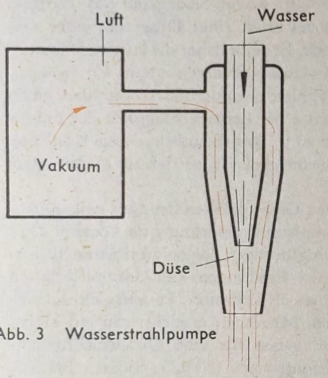


Abb. 3 Wasserstrahlpumpe

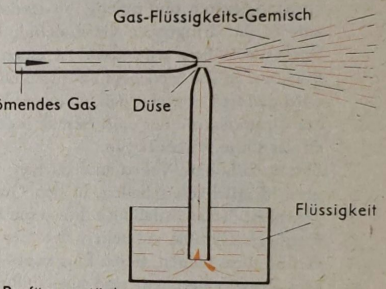


Abb. 5 Parfümzerstäuber

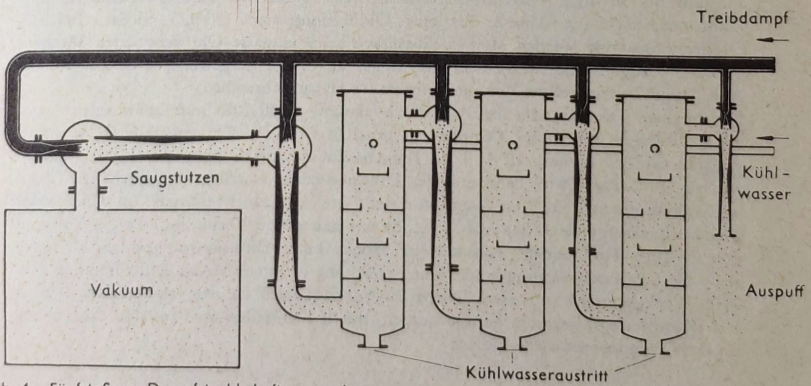


Abb. 4 Fünfstufiges Dampfstrahl- Luftsauger-Aggregat

VAKUUM, HOCHVAKUUM, ULTRAHOCHVAKUUM

Unter Vakuum versteht man eine „Luftleere", d.h. einen jeden Zustand von Luft, deren Druck unter dem Atmosphärendruck liegt. Der Herstellung eines Vakuums dienen Luftpumpen, die aus einem Gefäß die Gasmoleküle der Luft entfernen und auf diese Weise dort einen Unterdruck erzeugen. Je nach der Größe dieses Unterdruckes unterscheidet man Vakuum (bis 10^{-3} Torr), Hochvakuum (bis 10^{-6} Torr) und Ultrahochvakuum (10^{-7} Torr und niedriger). Dabei bedeutet 1 Torr den Luftdruck, der dem Bodendruck einer Quecksilbersäule von 1 mm Höhe das Gleichgewicht hält (vgl. S. 256). Als Luftpumpen können entsprechend spezialisierte Kolben- und Rotorpumpen (vgl. S. 44) verwendet werden. Heute dienen derartige Pumpen nur noch als Vorvakuumpumpen für die viel leistungsfähigeren Strahlpumpen.

Es liegt auf der Hand, daß nach der Bernoullischen Gleichung (s. S. 10) eine Verbesserung der Vakuumleistung von Strahlpumpen zu erwarten ist, wenn man die Strahlgeschwindigkeit steigert. Beim Wasserstrahl ist dem eine obere Grenze gesetzt, die bei 11 Torr liegt. Benutzt man statt eines Wasserstrahls einen Quecksilberdampfstrahl, so erreicht man Vakua der Größenordnung 10^{-3} Torr, wenn man sich einer Wasserstrahlpumpe als Vorpumpe bedient. Das ist schon deshalb erforderlich, weil bei Atmosphärendruck das zum Verdampfen gebrachte Quecksilber oxydieren würde. Die Funktionsweise einer Quecksilber-Dampfstrahlpumpe geht aus Abb. 1 hervor: In einem Siedegefäß aus Hartglas wird Quecksilber verdampft. Der Dampfstrahl erreicht in einer Düse sehr hohe Geschwindigkeiten und erzeugt so starken Unterdruck. Er reißt daher die aus der Vakuumseite in ihn dringenden Gasmoleküle der Luft fort und befördert sie zum Vorvakuum. Das Quecksilber wird dabei in einem Rückflußkühler gekühlt und tropft über einen Rücklauf in das Siedegefäß zurück. Die obere Grenze der Leistungsfähigkeit der Pumpe wird dadurch erreicht, daß bei einem Vakuum von 10^{-3} Torr die mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle der Luft bereits mehrere Zentimeter groß ist, so daß sie in der Regel an der Düse vorbeifliegen.

Um noch höhere Vakua zu erreichen, muß man den Gasmolekülen der Luft eine günstigere Möglichkeit schaffen, in den Quecksilberdampfstrahl eindringen zu können. Dies geschieht dadurch, daß man diesen mit Hilfe eines ringförmigen Spaltes zu einem schlauchförmigen Gebilde aufweitet. Die Erscheinungen des Eindringens der Gasmoleküle auf Grund ihres langen, freien Flugweges bezeichnet man als Diffusion; Pumpen, die auf diesem Prinzip beruhen, sind also Diffusionspumpen. Mit ihnen erreicht man ein Hochvakuum bis zu 10^{-7} Torr. Ihre Funktionsweise geben für eine Quecksilberdampf-Diffusionspumpe die Abb. 2, für eine Öldiffusionspumpe Abb. 3 wieder. Bei der Öldiffusionspumpe werden als Siedeflüssigkeit stark entgaste Öle verwendet. Pumpen größerer Saugleistung werden in der Regel aus Stahl hergestellt, während die in Abb. 1 und 2 dargestellten Vakuumpumpen aus Hartglas bestehen.

Das höchste Vakuum, das sog. Ultrahochvakuum, erhält man mit Diffusionspumpen, die Kühlflächen sehr tiefer Temperatur enthalten (Abb. 4). Die erreichten Vakua sind von der Größenordnung 10^{-10} Torr. Braucht die Hochvakuumpumpe ein Vorvakuum von rd. 10^{-3} Torr (weil dann erst der Diffusionseffekt eintritt), so braucht die Ultrahochvakuumpumpe ein Vorvakuum von der Güte eines Hochvakuums. Im Schema der Ultrahochvakuumanlage der Abb. 4 finden wir daher eine Vorpumpe, die ein Vakuum von rd. 10^{-3} Torr erzeugt, dahinter eine Hochvakuum-Diffusionspumpe und als letzte Stufe die Ultrahochvakuumpumpe. Zur Erreichung extremer Vakua sind zusätzlich eine Reihe Vorkehrungen zu treffen. Durch Ausheizen müssen die zu evakuierenden Räume von adsorbierten Gasresten befreit werden, durch Kühlfallen sind etwaige Dampfreste aus dem Pumpprozeß auszufrieren.

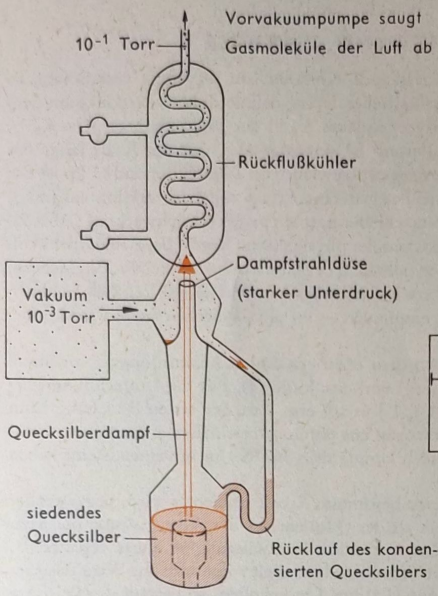


Abb. 1 Quecksilber-Dampfstrahlpumpe

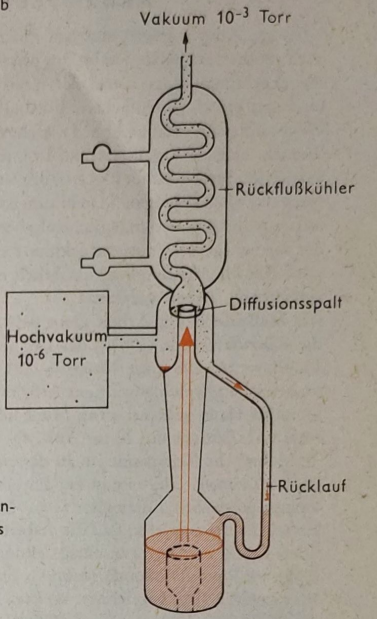


Abb. 2 Quecksilberdampf-Diffusionspumpe

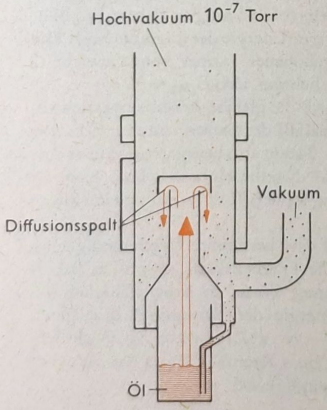


Abb. 3 Diffusionspumpe

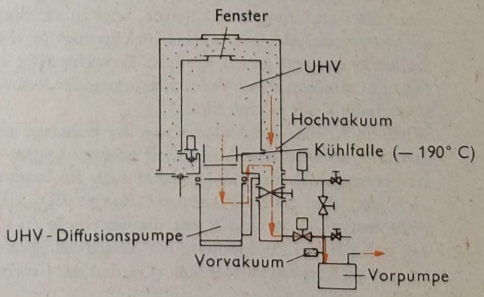


Abb. 4 Schema einer Ultrahochvakuum-(UHV-) Anlage

ARBEIT, LEISTUNG, ENERGIE I

Wird ein Körper gegen eine auf ihn wirkende Kraft um ein Wegstück verschoben, so wird *Arbeit* verrichtet. Sie ist (im physikalischen Sinne) definiert als das Produkt aus dem zurückgelegten Wege s und der Kraftkomponente K_s in der Wegrichtung: $A = K_s \cdot s$. In dieser etwas vereinfachten Formulierung ist vorausgesetzt, daß die Kraft längs des Weges konstant bleibt (Abb. 1). Hebt man ein Gewicht von 1 kp (Kilopond; 1 kp ist das Gewicht eines Kilogramms) um 1 m, so hat man eine Arbeit von 1 Meterkilopond (mkp) verrichtet; hierbei handelt es sich um Verschiebungsarbeit gegen die Schwerkraft (Abb. 2). Nach der oben gegebenen Definition stimmt der physikalische Begriff der Arbeit nicht voll mit dem überein, der im täglichen Leben oder in der Volkswirtschaft üblich ist. Ein Mensch, der mit waagerecht ausgestrecktem Arm ein schweres Gewicht einige Zeit hält (Abb. 3), wird dies als Anstrengung, als Arbeit empfinden — im physikalischen Sinne wird hierbei jedoch *keine* Arbeit verrichtet.

Als Maßeinheit der Arbeit dient neben dem oben erwähnten Meterkilopond vor allem die Kilowattstunde (kWh), das Erg (erg) und das Joule (J). Für die Umrechnung gilt: 1 kWh = 367 098 mkp, 1 mkp = 9,81 J, 1 J = 10^7 erg. Aus der ersten Beziehung kann man ersehen, welch gewaltiger Arbeitsvorrat uns durch den elektrischen Strom für wenig Geld ins Haus geliefert wird. Mit 1 kWh könnte man 367 098 kp um einen Meter heben oder 367 Zentner um 20 m (Abb. 4)!

Je kleiner die Zeitspanne ist, in der eine bestimmte Arbeit verrichtet wird, desto größer ist die *Leistung*. Diese ist in der Physik als der Quotient aus der Arbeit A und der dazu verwendeten Zeit t definiert: $L = A/t$. Auch diese Formulierung ist etwas vereinfacht: Es wird vorausgesetzt, daß die Arbeit A während der Zeit t konstant ist. Wird das Gewichtsstück in Abb. 2 in einer Sekunde (1 s) um 1 m gehoben, so beträgt die Leistung 1 Meterkilopond/Sekunde (mkp/s). Die Leistung 75 mkp/s wird in der Technik als eine Pferdestärke (PS) bezeichnet. Weitere Maßeinheiten der Leistung sind das Watt (W) und das Kilowatt (kW): 1 kW = 1000 W = 101,97 mkp/s = 1,36 PS. Wenn ein Mann, der 75 kp wiegt, eine Treppe hinaufeilt, so daß er pro Sekunde 1 m Höhe gewinnt (das entspricht etwa 6 bis 7 Treppenstufen), so leistet er 1 PS (Abb. 5). Eine solche Leistung ist für den Menschen jedoch nur kurzfristig möglich (Dauerleistung: $^1/_{10}$ bis $^1/_7$ PS).

Zum Heben des Gewichtsstückes in Abb. 2 wurde eine bestimmte Arbeit aufgewendet, die nun in ihm durch seine erhöhte Lage als „Arbeitsvorrat" aufgespeichert ist. Man sagt, der Körper hat bei II eine höhere *potentielle Energie* (Energie der Lage) als bei I. Die potentielle Energie E_{pot}, die ein auf die Höhe h gehobener Körper vom Gewicht G besitzt, ist gleich der Arbeit, die zum Anheben erforderlich war, also $E_{pot} = G \cdot h$.

Kehrt er wieder in die Lage I zurück, so vermag er auch die gleiche Arbeit zu verrichten, die vorher an ihm geleistet wurde. Dies ist ein Spezialfall des Satzes von der *Erhaltung der Energie* oder *der Arbeit*. Das Gewichtsstück in Abb. 2 kann also beispielsweise über eine Rolle ein anderes, gleich schweres Gewichtsstück auf dieselbe Höhe h heben (Abb. 6). Dies gilt streng nur bei Vernachlässigung der Reibung an der Rolle; sonst ist eine kleine zusätzliche Kraft erforderlich.

Wird ein Körper der Masse m aus der Ruhelage auf eine bestimmte Geschwindigkeit v gebracht, so wird ebenfalls Arbeit geleistet (gegen die Trägheitskraft, gegen das Beharrungsvermögen). In ihm ist daher auch ein bestimmter Vorrat an Arbeitsfähigkeit gespeichert, den man als *kinetische Energie* E_{kin} (Energie der Bewegung) bezeichnet. Zwischen E_{kin}, m und v gilt die Beziehung $E_{kin} = m \cdot v^2/2$. Hieraus ist ersichtlich, daß sich z.B. bei Verdopplung der Geschwindigkeit eines Kraftfahrzeuges die „Wucht" bei einem Aufprall vervierfacht (Quadrat der Geschwindigkeit!).

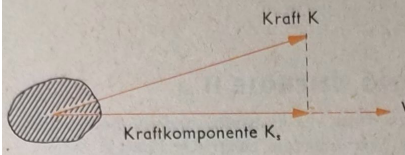


Abb. 1 Arbeit $A = K_s \cdot s$

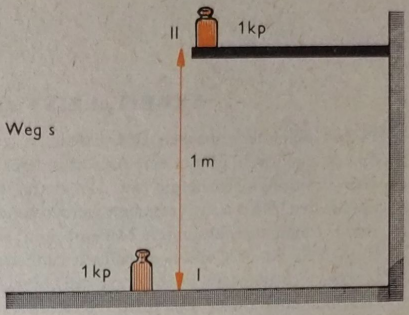


Abb. 2 Arbeit zum Heben: 1 mkp

Abb. 3
Keine Arbeit (im physikalischen Sinne)

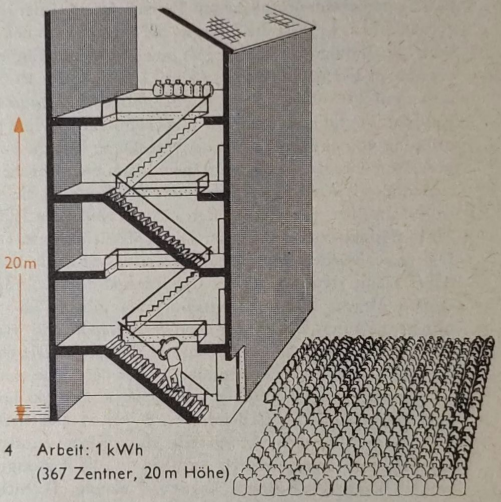


Abb. 4 Arbeit: 1 kWh
(367 Zentner, 20 m Höhe)

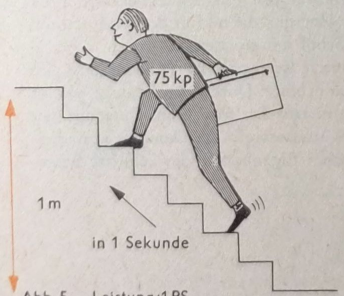


Abb. 5 Leistung: 1 PS

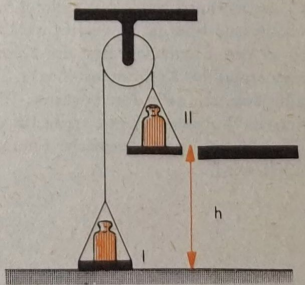
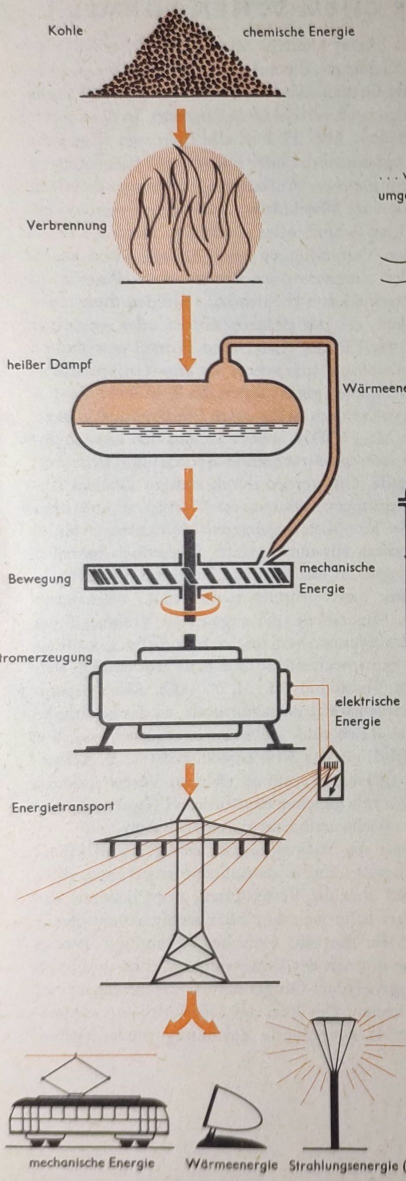


Abb. 6 Potentielle Energie („Arbeitsvorrat") in der Stellung II

ARBEIT, LEISTUNG, ENERGIE II

Neben den mechanischen Energieformen, zu denen die kinetische und die potentielle Energie gehören, gibt es eine Anzahl anderer: Wärmeenergie, elektrische Energie, chemische Energie, Kernenergie usw. Der Betrag der Energie wird auch hier durch die Arbeit angegeben, die mit ihr verrichtet werden kann. Häufig verwendet man bei den verschiedenen Formen auch besondere Maßeinheiten; sie stehen alle in einem festen Umrechnungsverhältnis zu den schon erwähnten Einheiten mkp, erg bzw. J und kWh. Die *Wärmeenergie* wird meistens in Kalorien (cal) bzw. Kilokalorien (kcal) angegeben: 1 cal ist die Wärmemenge (Wärmeenergie), die erforderlich ist, um 1 g Wasser bei normalem Atmosphärendruck von 14,5°C auf 15,5°C zu erwärmen. Umrechnung: 1 cal = 4,1855 J = 0,42680 mkp (Wärmeäquivalent). Die *elektrische Energie* wird in Kilowattstunden (kWh) gemessen. Im atomaren Bereich ist als Energieeinheit das Elektronenvolt (eV) gebräuchlich. 1 eV ist die Energie, die ein Elektron beim freien Durchlaufen einer elektrischen Spannung von 1 Volt (V) gewinnt. Diese Einheit ist im Vergleich zu den bisher erwähnten Einheiten winzig klein: $1\,eV = 4{,}45 \cdot 10^{-26}$ kWh (10^{-26} bedeutet: 1/100... insgesamt 26 Nullen). Auch bei der *chemischen Energie* findet man neben der Angabe in Kalorien häufig diese Einheit. Die chemische Energie eines Atoms liegt in der Größenordnung von einigen Elektronenvolt. Diese Energie ist jedoch nicht gemeint, wenn man von Atomenergie spricht, man meint dann vielmehr die Energie der Atomkerne, die man treffender als *Kernenergie* bezeichnet. Die Energie, die in einem Atomkern enthalten ist, ist weit größer, sie liegt im Bereich von Millionen Elektronenvolt pro Atomkern. Eine Million Elektronenvolt nennt man ein Megaelektronenvolt (MeV); 1 MeV = 1000000 eV. Die verschiedenen Energieformen sind in mannigfacher Weise ineinander umwandelbar, dabei bleibt stets der Betrag der Energie erhalten *(Satz von der Erhaltung der Energie*, Robert Mayer, 1842). Strenggenommen gibt es also keine *Energieerzeugung*, man entnimmt die Energie vielmehr einer *Energiequelle* und wandelt sie in eine für Technik und Wirtschaft zweckmäßigere Form um. Beispiele: Die chemische Energie der Kohle verwandelt sich bei der Verbrennung in Wärmeenergie, die man in der Dampfmaschine oder -turbine (s. S. 72, s. S. 74) in mechanische Energie umsetzt. Diese wiederum wird im Elektrizitätswerk im Generator (s. S. 94) in elektrische Energie umgewandelt. Diese Energieform läßt sich nun mit Hilfe elektrischer Leitungen bequem an den jeweiligen Verwendungsort transportieren, wo sie in die benötigten Energieformen umgewandelt werden kann (elektrischer Antrieb, Heizung, Beleuchtung usw.; Abb. 7). Bei einem Wasserkraftwerk nutzt man z. B. die potentielle Energie des Wassers in der gegenüber dem Kraftwerk erhöhten Lage des Stausees aus (Abb. 8). Im Rohrleitungssystem erfolgt durch das Herabströmen eine Umwandlung in kinetische Energie, die nun in den Generatoren in elektrische Energie umgesetzt wird. In einem Schiff mit atomarem Antrieb (Abb. 9) wird in den Brennelementen des Kernreaktors durch Kernspaltung (Ausnutzung der Kernenergie) des Kernbrennstoffes (s. S. 84) Wärme erzeugt. Durch den Reaktor strömt Kühlwasser, das sich dort erwärmt. Über die Wärmetauscher wird Dampf erzeugt, der seinerseits Turbinenanlagen treibt, in denen die Wärmeenergie des Dampfes in mechanische (Antrieb) und elektrische Energie (elektrischer Eigenbedarf des Schiffes) umgewandelt wird.

Abb. 7 Energieumwandlung



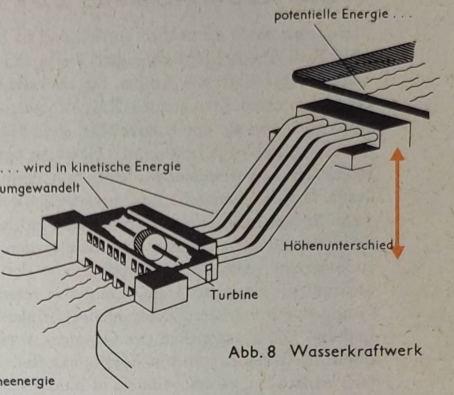


Abb. 8 Wasserkraftwerk

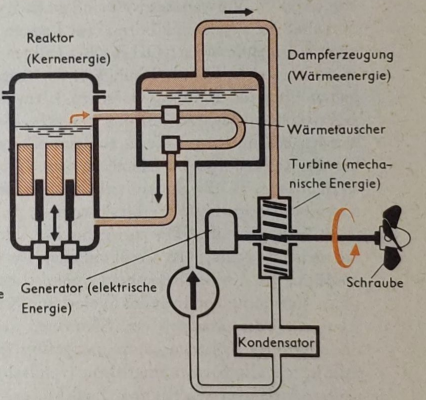


Abb. 9a Kernenergieantrieb

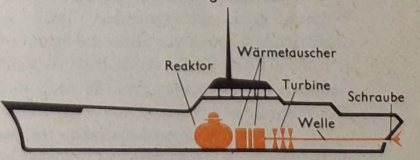


Abb. 9b Antriebsanlage eines Schiffes mit Kernenergieantrieb (Einbauordnung)

VOM ATOMMODELL ZUR CHEMISCHEN FORMEL I

Wenn man einen Eisenspan fortlaufend in immer kleinere Stücke zerteilt, erhält man schließlich (theoretisch) winzigste Eisenpartikelchen, die auf mechanischem Wege nicht weiter teilbar sind: die Atome. Sie sind die Grundbausteine, aus denen sich alle Stoffe zusammensetzen. Man kennt z. Z. 103 dem Bau nach verschiedene Elemente. In der Chemie bezeichnet man sie mit Kurzzeichen (Symbolen; Abb. 1). Fast alle Elemente zeigen das Bestreben, sich nach bestimmten Gesetzen untereinander oder mit anderen Elementen zu Molekülen zu verbinden; Moleküle mit dem gleichen Aufbau ergeben immer dieselben Stoffe. Um die chemische Zusammensetzung eines Moleküls kurz und unmißverständlich auszudrücken, wurde eine international gültige Schreibweise geschaffen. Danach werden die Symbole der einzelnen Elemente in den Verbindungen ohne Interpunktion aneinandergereiht (Abb. 2). Man spricht von der Summen- oder Bruttoformel. Besteht ein Molekül aus einer größeren Anzahl von verschiedenen Elementen, so bilden diese meist Gruppen mit stärkerer Zusammengehörigkeit, oft mit elektropositiver oder -negativer Ladung. Die Kurzzeichen der Gruppen werden in der chemischen Formel gewöhnlich direkt nacheinander und in bestimmter Reihenfolge angegeben. Ist eine Gruppe mehrfach vorhanden, so erscheint sie in runder Klammer, rechts unten die Zahl ihrer Häufigkeit (Abb. 3). Verwandte Stoffe sind vielfach nach einem bestimmten Formeltypus gebaut. So lautet die allgemeine Formel für Laugen $Me_m(OH)_n$, wobei Me das den Laugen zugrunde liegende Metall, OH das bei Laugen stets wiederkehrende Hydroxidion bedeutet; m und n stehen für die Häufigkeit der Anteile. Oft werden durch weitere Zeichen Angaben über die Bindung zwischen Elementgruppen, über deren Wertigkeit und über positive bzw. negative Ladung gemacht. Bei kompliziert gebauten Molekülen (Abb. 4) werden stabile Komplexe in eckigen Klammern zusammengefaßt. Schließlich bestehen für die Reihenfolge der Elemente bzw. Gruppen in den Formeln bestimmte Regeln. So stellt man z. B. die positiv geladenen Atome bzw. Gruppen meist voran. Man unterscheidet anorganische Verbindungen (z. B. Mineralien) und organische Verbindungen (z. B. Fette, Eiweiße). Die anorganischen Verbindungen sind ungleich einfacher gebaut als die meisten organischen Verbindungen. Dementsprechend ist ihre Zahl (rd. 60000) weit niedriger als die der bekannten organischen Verbindungen (rd. 650000). Allen organischen Verbindungen liegt ein Skelett von Kohlenstoffatomen zugrunde, an das bestimmte Elemente oder Gruppen von Elementen gebunden sind. Dabei ist es entscheidend, wie die einzelnen Bausteine zusammengefügt sind, ob das Kohlenstoffgerüst z. B. kettenförmig (azyklisch) oder ringförmig (zyklisch) gebaut ist, und an welchen Verzweigungen weitere Atomgruppen hängen. Zwei Moleküle mit gleicher Bruttoformel (Isomere), aber verschiedener Struktur können somit ganz verschiedene Eigenschaften haben.

Während in der anorganischen Chemie meist die Summenformel genügt, wird in der organischen Chemie vor allem die Strukturformel (oder Konstitutionsformel) angegeben, d. h. jene Formel, die symbolhaft Aufschluß über die Verknüpfung der Elemente und Gruppen untereinander gibt. Je nach Bedarf kann sie mehr oder weniger vereinfacht wiedergegeben werden. Dies zeigt Abb. 5 für die sehr einfache Verbindung Pentan C_5H_{12}. Da bei 5 Kohlenstoffatomen mehrere Formen der Verkettung möglich sind, muß auch dies in der Strukturformel berücksichtigt werden. Oft genügt es, nur die Lage einer bestimmten Gruppe im Molekül zu kennzeichnen. Der Rest des Moleküls kann summarisch als R bezeichnet und angehängt oder als symbolhafte Zeichnung wiedergegeben werden (Abb. 6).

Abb. 1
Kurzzeichen der Elemente:

Wasserstoff (Hydrogenium) = H
Kohlenstoff (Carboneum) = C
Sauerstoff (Oxygenium) = O
Stickstoff (Nitrogenium) = N
Natrium (Natrium) = Na

Abb. 2
Schreibung chem. Formeln:

1 Atom H + 1 Atom Cl = HCl (Salzsäure)
2 Atome H + 1 Atom O = H_2O (Wasser)
1 Atom C + 2 Atome O = CO_2 (Kohlendioxid)

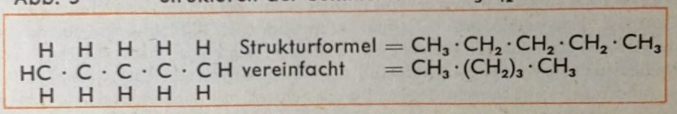
Abb. 3

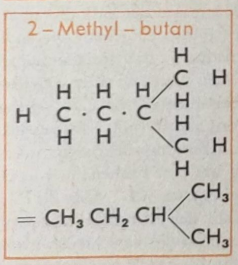
Verbindung	Gruppen	richtig	falsch
Bittersalz	$Mg^{++} + SO_4^{--}$	$MgSO_4$	$SMgO_4$, O_4MgS
Soda	$2Na^{+} + CO_3^{--}$	Na_2CO_3	CNa_2O_3, O_3Na_2C
Ammonsalpeter	$NH_4^{+} + NO_3^{-}$	NH_4NO_3	NNH_4O_3, $O_3N_2H_4$,
Ammonium-carbonat	$2NH_4^{+} + CO_3^{--}$	$(NH_4)_2CO_3$	$C(NH_4)_2O_3$, $O_3(NH_4)_2C$

Abb. 4
Beispiel für eine komplizierte Formel:

$[Na_2\ Fe_3^{II}\ Fe_2^{III}\ (OH)_2]^{+6}\ [Si_8O_{22}]^{-6}$, eine Hornblende (Riebeckit), bestehend aus einem positiv geladenen Komplex mit zwei- und dreiwertigem Eisen und einem negativ geladenen Komplex.

Abb. 5 Strukturen der Summenformel C_5H_{12}





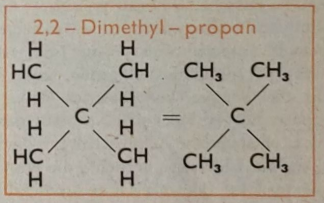
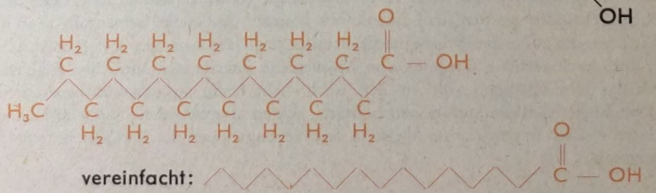


Abb. 6
Palmitinsäure: $C_{16}H_{32}O_2$ oder $C_{15}H_{31}COOH = CH_3(CH_2)_{14} \cdot C^{*}{}^{O}_{OH}$



VOM ATOMMODELL ZUR CHEMISCHEN FORMEL II

Um sich Zusammensetzung und Reaktionen der chemischen Verbindungen vorstellen zu können, ist es notwendig, sich näher mit dem Bau der Atome zu befassen. Ein Bild davon gibt das 1913 von Niels Bohr geschaffene Atommodell, das auch heute noch als Ordnungsschema brauchbar ist und chemische Vorgänge begrifflich faßbar macht. Nach der alten Bohrschen Theorie besteht das Atom aus einem positiv geladenen Atomkern (Abb. 1), um den eine Hülle von negativ geladenen Elektronen kreist. Alle Elektronen besitzen die gleiche Elementarladung, die positive Ladung des Kerns entspricht der Summe der negativen Elektronenladungen; dadurch erscheint das Atom nach außen hin elektrisch neutral. Angegeben wird die Zahl der Elementarladungen des Atomkerns durch die Kernladungszahl, die der Zahl der Elektronen entspricht. Mit der Kernladungszahl wächst auch das Atomgewicht, das zu 99,9% durch die Masse des Kernes gegeben ist.

Die chemischen Eigenschaften eines Atoms werden weitgehend durch den Bau der Elektronenhülle bedingt. Die Elektronen sind auf höchstens 7 Schalen verteilt, deren Fassungsvermögen für Elektronen nach der Formel $2 \times n^2$ (n = Zahl der Schale) steigt. Die innerste, 1. oder K-Schale faßt $2 \times 1^2 = 2$ Elektronen, die nächstfolgende, 2. oder L-Schale $2 \times 2^2 = 8$ Elektronen usw.; in der O-, P- und Q-Schale wird das Fassungsvermögen nicht mehr erreicht. — Die Auffüllung der Schalen beginnt beim Wasserstoff, dem leichtesten Atom, das nur 1 Elektron besitzt. Dieses hat das Niveau der K-Schale, die bereits beim Helium mit 2 Elektronen abgeschlossen ist. Beim Li mit 3 Elektronen beginnt der Ausbau der L-Schale, beim Ne mit 8 Elektronen ist auch diese gefüllt. In dieser Weise schreitet die Auffüllung der Schalen fort, bis die M-Schale eine stabile Zwischenstufe von 8 Elektronen erreicht hat. Dann erfolgt der Ausbau der Schalen nicht mehr regelmäßig von innen nach außen, sondern er wird in jeder Schale bei stabilen Zwischenstufen (erstmals nach 2, dann nach 8, evtl. nach 9 und schließlich nach 18 Elektronen) unterbrochen. Nun wird erst die folgende (innere bzw. äußere) Schale bis zur nächsthöheren stabilen Zwischenstufe oder auch ganz aufgefüllt. — Entsprechend der Elektronentheorie der Valenz sind die Atome bestrebt, abgeschlossene Schalen oder mindestens stabile Zwischenstufen zu erreichen. Dies ist von Natur aus nur bei den Edelgasen der Fall, die unter gewöhnlichen Bedingungen keine Bindungen mit anderen Atomen eingehen. Die anderen Elemente erreichen eine solche Edelgaskonfiguration dadurch, daß sie untereinander passende Verbindungen eingehen, wobei sich die Elektronen ihrer äußersten Schalen (in mehr oder weniger komplizierter Weise) zu einer gemeinsamen stabilen Konfiguration ergänzen. So verbindet sich Na (mit einem Außenelektron) mit Cl (mit 7 Außenelektronen), es entsteht eine Achterschale, an der beide teilhaben. Allerdings überwiegt nun beim Na, das ein Elektron „verlieh", die positive Kernladung um eine Einheit; es ist positiv einwertig (Na^+ oder $Na^{\cdot}$). Entsprechend ist Cl negativ einwertig (Cl^-; Abb. 2). Für die chemischen Verbindungen ist fast ausschließlich die Zahl der Außenelektronen maßgebend. Da die Affinität (Anziehungskraft) der Atome zueinander verschieden groß ist, entstehen bestimmte Verbindungen, und diese werden u. U. durch neu hinzutretende Elemente oder Verbindungen angegriffen. Dies wird durch chemische Gleichungen ausgedrückt (Abb. 3). — Einen klaren Überblick über die Elemente gibt das Periodensystem, in dem diese entsprechend ihrer Kernladungszahl geordnet und so in Reihen untereinander geschrieben werden, daß Atome mit gleicher Außenelektronenzahl (von 1 bis 8 Elektronen der äußersten Schale) untereinander zu stehen kommen. Es ergeben sich dabei von links nach rechts 8 Gruppen von Atomen mit jeweils sehr ähnlichen Eigenschaften (Abb. 4). Jene Elemente, die in den noch nicht fertig ausgebauten inneren Schalen gleiche Elektronenkonfigurationen besitzen, zeigen abgeschwächt ähnliche Erscheinungen. Sie werden in bestimmter Weise in den Nebengruppen des Periodensystems zusammengefaßt.

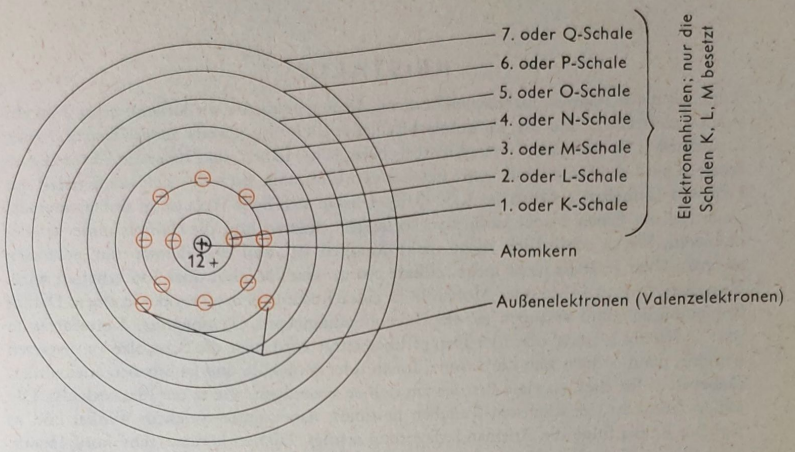


Abb. 1 Atommodell (Magnesium)

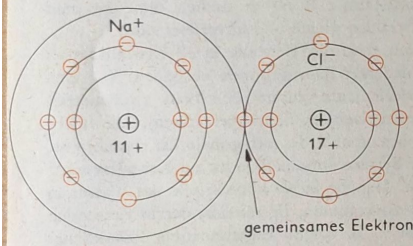


Abb. 2

$Na + Cl \longrightarrow Na^+Cl^-$

$K + H_2O \longrightarrow KOH + \uparrow H$

$HCl + NaOH \longrightarrow NaCl + H_2O$

$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$

$H_2 + J_2 \rightleftharpoons 2HJ$

→ zeigt Reaktionsrichtung

⇌ Reaktion ist umkehrbar

↑ Stoff entweicht gasförmig

Abb. 3 Beispiele für chemische Gleichungen

Abb. 4 Gekürztes Periodensystem

	I. Gruppe	II. Gruppe	III. Gruppe	IV. Gruppe	V. Gruppe	VI. Gruppe	VII. Gruppe	VIII. Gruppe
1. Periode	Wasserstoff H							Helium He
2. Periode	Lithium Li	Beryllium Be	Bor B	Kohlenstoff C	Stickstoff N	Sauerstoff O	Fluor F	Neon Ne
3. Periode	Natrium Na	Magnesium Mg	Aluminium Al	Silicium Si	Phosphor P	Schwefel S	Chlor Cl	Argon Ar
4. Periode	Kalium K	Calcium Ca	Gallium Ga	Germanium Ge	Arsen As	Selen Se	Brom Br	Krypton Kr
5. Periode	Rubidium Rb	Strontium Sr	Indium In	Zinn Sn	Antimon Sb	Tellur Te	Jod J	Xenon Xe
6. Periode	Cäsium Cs	Barium Ba	Thallium Tl	Blei Pb	Wismut Bi	Polonium Po	Astat At	Radon Rn
7. Periode	Francium Fr	Radium Ra						

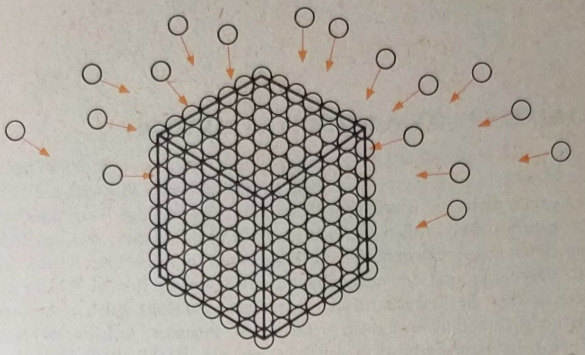
KRISTALLE

Stoffe, die glatte Begrenzungsflächen besitzen, die in regelmäßig wiederkehrenden Winkeln aufeinandertreffen, und die in unterschiedlicher Richtung jeweils andere Eigenschaften (Spaltbarkeit, Ritzbarkeit, Härte, Lichtbrechung usw.) haben, sind Kristalle. Diese Eigenschaften sind die Folge einer ganz bestimmten Ordnung, nach der sich der Kristall aus kleinsten Einheiten aufbaut (vgl. S. 18ff.). Unsere stoffliche Welt ist in immer kleinere Teile teilbar. Einen Nagel kann man so lange halbieren und die Hälften immer wieder halbieren, bis es schließlich nicht mehr möglich ist, weil das kleinste mit normalen mechanischen Kräften nicht mehr teilbare Atom oder Molekül oder Ion erhalten wird. Sind diese Atome, Ionen oder Moleküle in einer Lösung, Schmelze oder in einem Dampf frei beweglich und erlauben es die Umweltbedingungen (Temperatur, Konzentration usw.), daß die Lösung oder der Dampf übersättigt wird oder die Schmelze zu erstarren beginnt, dann ordnen sich die Atome, Ionen oder Moleküle und lagern sich aneinander. Dabei ist es ihr Ziel, so viele Partner um sich zu vereinigen, wie es der Platz erlaubt. Die äußere Struktur der kleinsten Teilchen bestimmt dabei, unter welchem Winkel und in welcher Reihenfolge die Aneinanderlagerung erfolgt. Hierbei können sehr komplizierte Verhältnisse herrschen. Der „einfache" Stoff Wasser z. B., der ja in Wirklichkeit sehr kompliziert aufgebaut ist, hat so viele Möglichkeiten des Aneinanderkristallisierens, daß schließlich Hunderte von Kristallformen entstehen. Betrachtet man aber die regelmäßigen Schneekristalle aufmerksam, dann findet man, daß eine ganz bestimmte Symmetrie auftritt und es mitunter ganz leicht ist, den Kristall um z. B. 60° zu drehen, ohne daß man eine Veränderung bemerkt (falls die Kristallstrahlen gleich und unverletzt sind).

Aufgrund ihrer Symmetrieeigenschaften kann man die Kristalle in 32 Kristallklassen einteilen, die sich ihrerseits aus 230 verschiedenen Raumgruppen aufbauen. Für eine Raumgruppe müssen bestimmte Symmetrieelemente zusammenwirken (Symmetriezentren, Spiegelebenen, Drehachsen, Drehspiegelachsen, Schraubenachsen). Die wichtigsten Kristallsysteme sind das kubische, das hexagonale, das tetragonale, das rhombische, das monokline, das trigonale und das trikline System. Innerhalb jedes der Kristallsysteme gibt es recht unterschiedliche Kristallformen. Manche Stoffe können wie das Wasser in Hunderten unterschiedlicher Kristallformen vorkommen, die miteinander in Tausenden von Kombinationen auftreten. Kalkspat hat z. B. solche Eigenschaften. Ein kleiner Kristall von der Größe eines Fliegenauges (0,1 mm Kantenlänge) enthält dabei immerhin schon rd. 10^{19} Atome, Ionen oder Moleküle und die Kante eines solchen winzigen Kriställchens wird von 400000 Atomen, Ionen oder Molekülen aufgebaut, die alle in einer absolut präzisen Gerade gelagert sein können. Für die Technik noch interessanter sind allerdings die Kristalle mit Fehlstellen (s. Halbleiter S. 112).

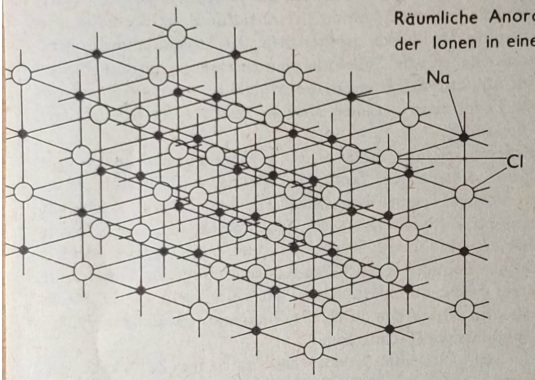
Die Mehrzahl aller festen Stoffe ist aus Kristallen aufgebaut. Alle Metalle bestehen aus zum Teil winzigen Kriställchen, nahezu alle Gesteine sind kristallin aufgebaut. Neben diesen winzigen Kriställchen existieren aber auch kubikmetergroße Riesenkristalle z. B. aus Kochsalz.

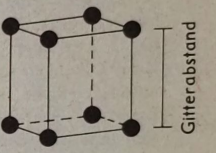
Um einen bestimmten Kristall in sein Kristallsystem einordnen zu können, denkt man sich drei durch einen Schnittpunkt verlaufende Achsen im Innern des Kristalles und prüft, unter welchem Winkel sich die Achsen schneiden und welche Längenverhältnisse sie haben. Ein Kristall z. B., der durch drei gleichlange, vertauschbare, unter je 90° sich schneidende Achsen beschrieben werden kann, gehört zu einer der fünf Kristallklassen des kubischen Systems. Der Zusammenhalt der Materie in den Kristallen kann auf Ionenbindung (z. B. Kochsalz), auf kovalenter Bindung (z. B. Diamant), auf metallischer Bindung (z. B. Kupfer), auf van-der-Waalsschen Kräften (z. B. Naphthalin) und auf Wasserstoffbrückenbindung beruhen. Die Kraft der Bindung bestimmt Härte und Schmelzverhalten der Kristalle.



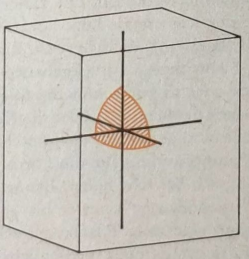
Die einzelnen Moleküle ordnen sich zum kubischen Kristall

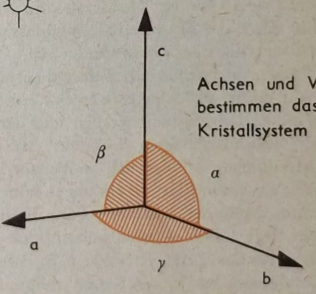
Räumliche Anordnung (Raumgitter) der Ionen in einem Steinsalzkristall (NaCl)





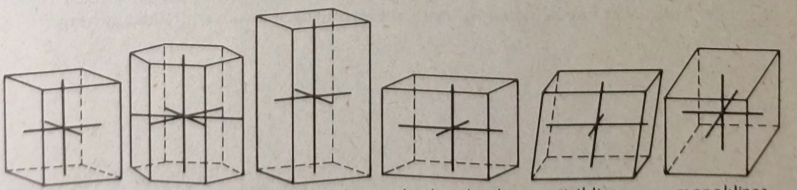
Elementarzelle





Achsen und Winkel bestimmen das Kristallsystem

Kristallsysteme:



kubisches System | hexagonales System | tetragonales System | orthorhombisches System | triklines System | monoklines System

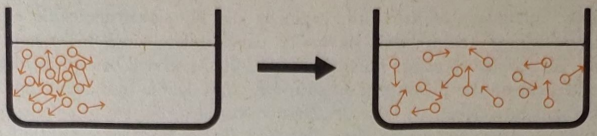
OSMOSE (OSMOTISCHER DRUCK)

Leben ist Bewegung — das zeigen deutlich das schlagende Herz oder auch der ständige Atemrhythmus der Menschen und Tiere. Aber auch in den lebenden Pflanzen vollzieht sich eine stete, wenn auch nicht so augenfällige Bewegung: der ständige Transport von Wasser mit den darin aufgelösten Stoffen von den Wurzeln in die Blätter, von den Blättern in den Stamm. Diese Stoffbewegung ist die Folge von Diffusion und Druck, die ihrerseits von der Temperatur und der unterschiedlichen Konzentration in Wasser gelöster Stoffe abhängen. Daß die Temperatur eine entscheidende Rolle spielt, sehen wir schon an dem jahreszeitlich bedingten Lebensrhythmus der Pflanzen. Je kälter es wird, um so langsamer wird der Stofftransport in den Pflanzen, bis er schließlich im Winter stark eingeschränkt wird oder zum Stillstand kommt. Temperatur ist ja ebenfalls nur ein Maß für die dauernde Bewegung der kleinen Stoffteilchen, der Moleküle und Ionen. Bei einer bestimmten Temperatur haben alle Moleküle eine bestimmte mittlere Bewegungsgeschwindigkeit. Vereint als Flüssigkeit sind die Moleküle zwar noch relativ frei beweglich (sie füllen jede Form eines Gefäßes), aber sie sind so eng beieinander, daß sie sich dauernd gegenseitig stoßen.

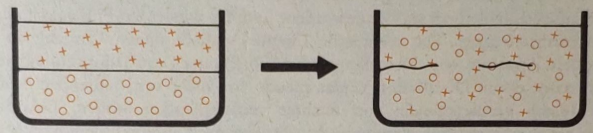
Zwei Lösungen unterschiedlicher Salze oder Stoffe (z. B. in Wasser) oder auch schon unterschiedliche Konzentrationen des gleichen Stoffes in Lösung vermischen sich im Laufe der Zeit völlig. Diesen Vorgang nennt man Diffusion. Gelöste Stoffe verhalten sich innerhalb der Lösung wie ein Gas. Sie versuchen, jeden ihnen gebotenen Raum auszufüllen. Die Diffusion hat eine besondere Wirkung, wenn zwischen den beiden Lösungen unterschiedlicher Stoffe oder unterschiedlicher Konzentration eine Trennwand existiert, die nur für bestimmte Stoffe durchlässig ist. Den Durchgang dieser Stoffe nennt man Osmose. Sie ist also die Folge der durch die Temperatur bedingten Diffusion unter der Mithilfe halbdurchlässiger Trennwände.

Halbdurchlässige Trennwände (semipermeable Wände) sind z. B. die Zellwände der Pflanzen und nahezu aller tierischen und menschlichen Zellen. Die Halbdurchlässigkeit sorgt dafür, daß kleine Bausteine mit Hilfe des Wassers als Löse- und Transportmittel in die Zellen geschafft werden und daß große Bausteine, die sich schließlich bilden, von der halbdurchlässigen Wand in Art einer Siebwirkung zurückgehalten werden. Die Osmose hat zur Folge, daß in lebenden Zellen oder in von semipermeablen Membranen umschlossenen Räumen ein um so höherer Druck herrscht, je größer die Konzentrationsunterschiede der Lösungen sind, die innerhalb und außerhalb des umschlossenen Raumes liegen. Dieser osmotische Druck ist lebensnotwendig für die Form und Stabilität der lebenden Zelle. Er sorgt z. B. dafür, daß auch bei sehr hohen Bäumen Wasser von der Wurzel bis in die Krone steigt; bei Wüstenpflanzen kann er bis über 100 Atmosphären erreichen. Mit Hilfe der Osmose kann eine zarte Pflanze aufrecht stehen und dem Wind trotzen, auf diese Weise kann ein tierisches oder menschliches Organ seine Form behalten. Osmotische Vorgänge spielen natürlich auch in der unbelebten Natur eine Rolle, aber ihre Wirkung bei den Lebensvorgängen ist unvergleichlich wichtiger.

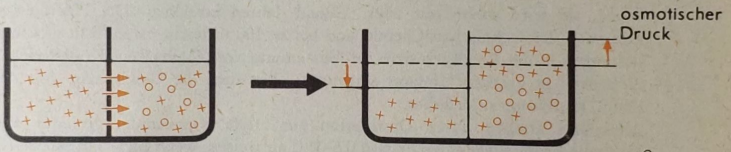
Die Stoffe diffundieren wegen der Wärmebewegung
(Geschwindigkeit rd. $90 \cdot 10^{-3}$ mm / sec)

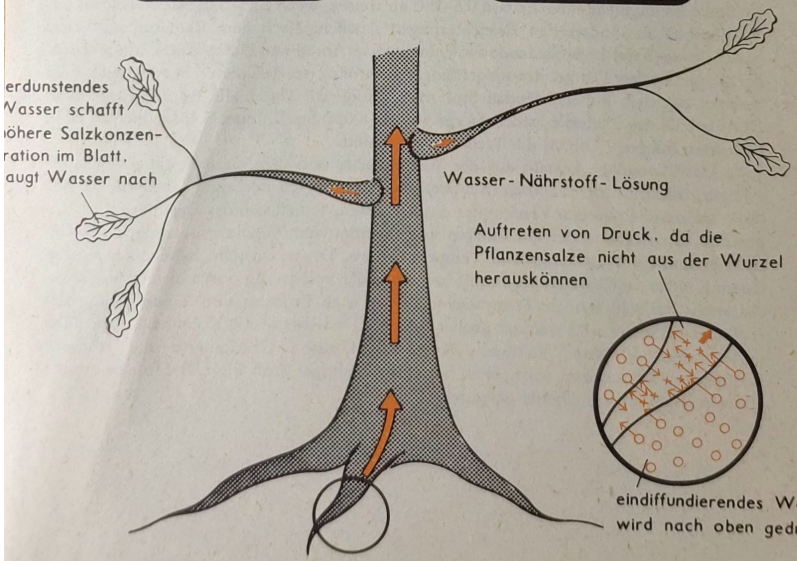


Deswegen vermischen sich Lösungen ungleicher Konzentration oder unterschiedlicher Stoffe



Lösungen ungleicher Konzentration oder ungleicher Stoffe können sich bei halbdurchlässigen Trennwänden nicht mehr vermischen: osmotischer Druck tritt auf





DESTILLATION

Wenn eine Flüssigkeit erhitzt wird, beginnen die Flüssigkeitsmoleküle eine immer heftigere Bewegung auszuführen; sie stoßen dabei andere, noch nicht stark bewegte Moleküle, bis schließlich einige Flüssigkeitsmoleküle so schnell bewegt werden, daß sie die Oberflächenhaut der Flüssigkeit durchstoßen (Abb. 1). Sie sind damit frei beweglich geworden und entweichen als Gas. Bei Zusammenstößen mit den Molekülen eines kälteren Mediums geben sie wieder einen Teil ihrer Bewegungsenergie ab, sie lagern sich aneinander und bilden schließlich wieder kleine Tropfen. Diesen Vorgang beobachtet die Hausfrau z. B. beim Kochen von Wasser, dessen wieder abgekühlter Dampf am Küchenfenster zur Flüssigkeit kondensiert. Das von der Sonnenwärme verdampfte Wasser kondensiert bei der Abkühlung in großen Höhen ebenfalls wieder zu kleinsten Tröpfchen (Wolken), die schließlich als größer gewordene Tropfen wieder zur Flüssigkeit zusammenlaufen, wenn es regnet. Die technische Chemie schließt diesen Vorgang in kleinere oder größere Apparate, sog. Destilliergeräte (Abb. 2) oder Destillationskolonnen (Abb. 3) ein und trennt durch Destillation verdampfende von nicht verdampfenden Stoffen oder weniger leicht verdampfende von leichter verdampfenden Stoffen. Destillation ist demnach ein Verfahren zur Trennung von Stoffen nach ihrem Flüchtigkeitsgrad. Der beim Erhitzen verdampfende und durch Abkühlung in Kühlern wieder kondensierte Anteil heißt Destillat; der nicht verdampfende Anteil wird Destillationsrückstand genannt. Die Destillation ist eines der wichtigsten Verfahren zur Reinigung flüchtiger Stoffe, sie wird schon seit über tausend Jahren betrieben. Die Hochleistungstrennkolonnen der technischen Chemie sind bis zu 100 m hoch, bis zu 5 m dick und werden besonders in der Erdölindustrie zur Gewinnung von Treibgasen, Kraftstoffen, Schmierölen usw. in großem Umfang eingesetzt; aber auch die Gewinnung von Alkohol ist ohne Destillation undenkbar.

Allerdings können durch Destillation nur Stoffe voneinander getrennt werden, die wenigstens eine Siededifferenz von 0,5–1 °C aufweisen, wenn nicht Hilfsstoffe (Extraktivdestillation) in Sonderfällen Erleichterungen schaffen. Nach dem Raoultschen Gesetz entsendet auch der höhersiedende Stoff eine seinem Anteil und Dampfdruck entsprechende Menge in den Dampf des niedersiedenden Stoffes, so daß dieser immer mehr oder weniger mit dem höhersiedenden Stoff verunreinigt ist. Durch die Rückführung eines Destillatteils des niedersiedenden Stoffes in den Kopf der Kolonne wird jedoch z. B. in Rektifizieranlagen (Abb. 3) die Trennung verbessert.

Jede Destillieranlage besteht aus der Wärmequelle und dem Verdampfer (Durchlauferhitzer, Blase, Destillierkolben, Retorte). Für Trennungen flüchtiger Gemische ist eine Fraktioniereinheit an den Verdampfer angeschlossen, so daß sich das Destillationsgleichgewicht entsprechend der qualitativen und quantitativen Zusammensetzungen des Gemisches und der Zustandsgrößen Temperatur bzw. Druck einstellt. Schließlich wird in einem Kühler das Destillat abgekühlt und entweder vollständig oder nur teilweise abgenommen. Bei schwierigen Trennungen läuft je nach Problem und Trennleistung der Kolonne ein mehr oder weniger großer Teil des Destillats in die Kolonne zurück. Man unterscheidet Einweg-, Vakuum-, Kurzweg-, Druck-, fraktionierte und trockene Destillation. Bei letzterer wird ein an sich nicht flüchtiger Stoff wie z. B. Holz erst durch Hitze in destillierbare Anteile gespalten.

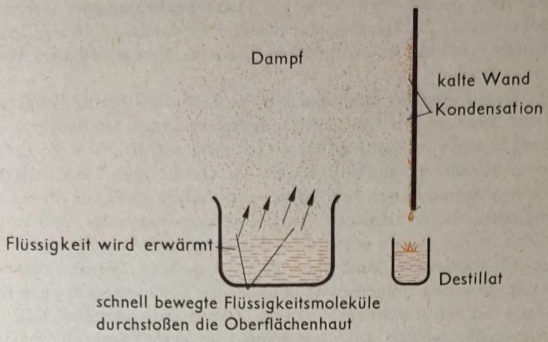


Abb. 1 Vorgänge bei der Destillation

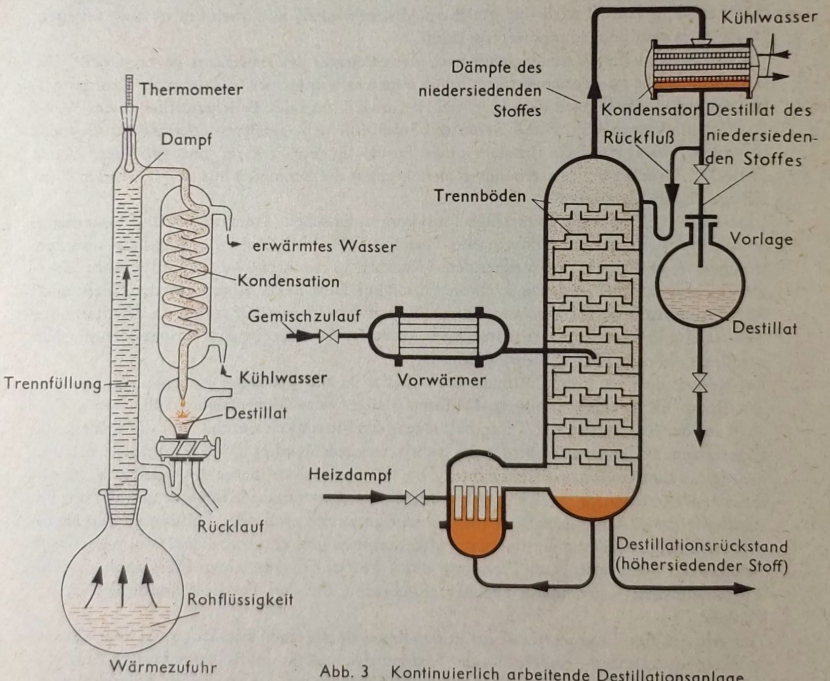


Abb. 2 Moderner Destillierapparat

Abb. 3 Kontinuierlich arbeitende Destillationsanlage (Rektifikation)

ZENTRIFUGE

Eine Zentrifuge ist ein Apparat, der vorwiegend zur Trennung heterogener Gemische (flüssig-fest; z. B. Zuckerkristall in Melasse), und flüssiger Gemische (z. B. ineinander nicht lösbare Flüssigkeiten verschiedenen spezifischen Gewichts, Fett in Milch) verwendet wird.

Das physikalische Prinzip, auf dem das Funktionieren der Zentrifuge beruht, kann man sich zunächst einmal am Absetzen von im Wasser aufgeschwemmten Sandteilchen verdeutlichen. Wirbelt man in einem wassergefüllten Gefäß Sand auf, so greift die Erdanziehungskraft an jedem einzelnen Sandkorn stärker an als an den Wasserteilchen, weil die Masse (Materialanhäufung) eines Sandkornes gewöhnlich größer ist als die der umgebenden Wasserteilchen; die Sandteilchen werden auf den Boden des Gefäßes gezogen. Nach einiger Zeit ist das System zur Ruhe gekommen, man sieht in dem Gefäß zwei Schichten: unten den abgesetzten Sand, oben die Wasserschicht. Diesen Trennvorgang kann man auch mit einer Zentrifuge bewirken und sogar beschleunigen, wenn man an den Teilchen anstelle der Erdanziehungskraft eine Zentrifugal- oder Fliehkraft angreifen läßt. Zentrifugalkräfte werden wirksam, wenn man eine Trommel, in deren Inneren das zu trennende Gemisch untergebracht ist, mit großer Geschwindigkeit um ihre Längsachse rotieren läßt. Die Größe der vom Drehmittelpunkt nach außen gerichteten Fliehkraft ist dabei hauptsächlich von der Drehzahl der Trommel abhängig. Die Eisenkugel in Abb. 2 wird (bei gleichem Abwurfwinkel) also auch um so weiter fliegen, je schneller sich der Hammerwerfer dreht.

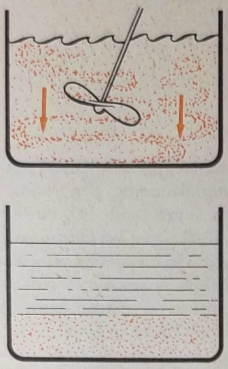
Die Trommel beim Zentrifugieren nach dem Beispiel des Absetzens ist ungelocht. Die Bestandteile des zu trennenden Gemisches setzen sich unter der Wirkung der Zentrifugalkraft schichtweise je nach dem spezifischen Gewicht und der Teilchengröße an der Wand ab. Unmittelbar an der Wand sitzen die Stoffe mit dem größeren spezifischen Gewicht (Gewicht eines Kubikzentimeters eines Stoffes in Pond) oder der größeren Masse (Abb. 3). Durch zwei feststehende Rohre können die Schichten aus der laufenden Zentrifuge abgeführt werden.

Eine andere Bauart der Zentrifuge (zur kontinuierlichen Trennung einer Flüssigkeitsemulsion) ist in Abb. 4 a dargestellt. Durch das Füllrohr läuft die Mischung ununterbrochen in das Innere der rotierenden Trommel, in der konische Schleuderbleche übereinander angeordnet sind. Die leichtere Flüssigkeit läuft an der Hinterseite der Bleche nach oben und wird von hier aus abgeführt. Die schwere Flüssigkeit spritzt an den Rand der Trommel und wird durch entsprechende konische Ausführung der Trommel nach oben zu einem anderen Rohr geführt (Abb. 4 b).

Bei Zentrifugen nach dem Prinzip des Filterns ist die Trommel gelocht und eventuell mit einem Filtertuch überzogen. Dadurch bleiben beim Zentrifugieren die festen Teilchen auf der Innenwand der Trommel liegen, die Flüssigkeit durchdringt die Schicht der abgesetzten Teilchen und wird nach außen weggeschleudert (Wäscheschleudern!) und aus dem äußeren Gehäuse abgeführt (Abb. 5). Schleudern dieser Art werden meist absatzweise betrieben, d. h., sie werden mit der zu trennenden Mischung gefüllt, die Bestandteile der Mischung werden voneinander getrennt; nach dem Abbremsen der Trommel wird der Rückstand an der Wand abgenommen und entfernt. Beim kontinuierlichen Betrieb von Schleudern zur Trennung eines Feststoffes von einer Flüssigkeit sind im Trommelinnern feststehende Schaber angebracht, die den Feststoff kontinuierlich abkratzen.

Der Antrieb der Trommeln erfolgt in der Regel durch einen Elektromotor über ein Getriebe (Schneckenrad-, Kegelrad- oder Riementrieb) auf die am Boden befestigte Antriebswelle. An der Stelle, an der die rotierende Welle in den feststehenden Mantel eintritt, muß sie durch eine Stopfbüchse (s. S. 318) abgedichtet werden.

Abb. 1 Absetzen eines schweren Feststoffes in einer Flüssigkeit



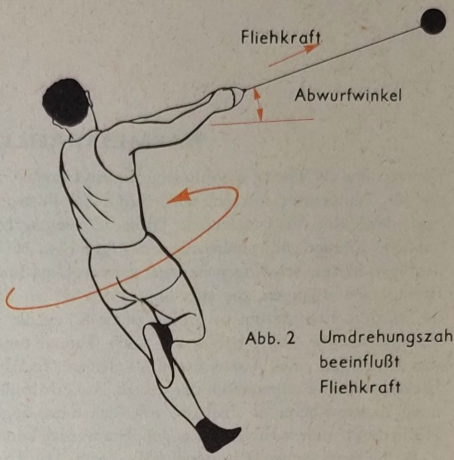


Abb. 2 Umdrehungszahl beeinflußt Fliehkraft

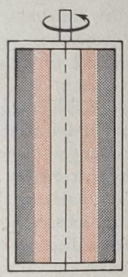


Abb. 3 Absetzen der Bestandteile eines Gemisches unter der Wirkung der Zentrifugalkraft

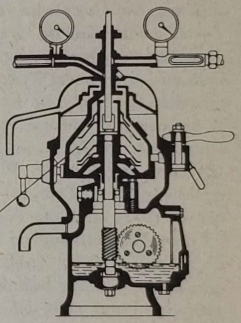


Abb. 4a Zentrifuge zur Trennung zweier Flüssigkeiten

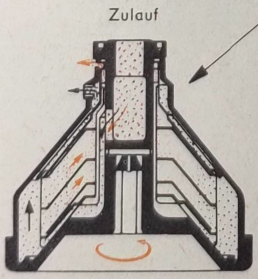


Abb. 4b Trommel mit Schleuderblechen aus Abb. 4a

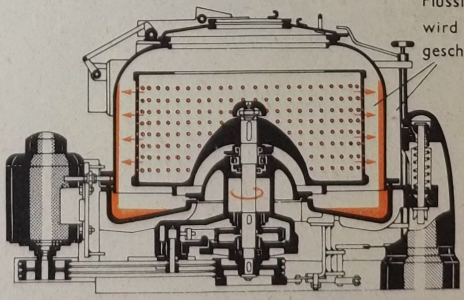
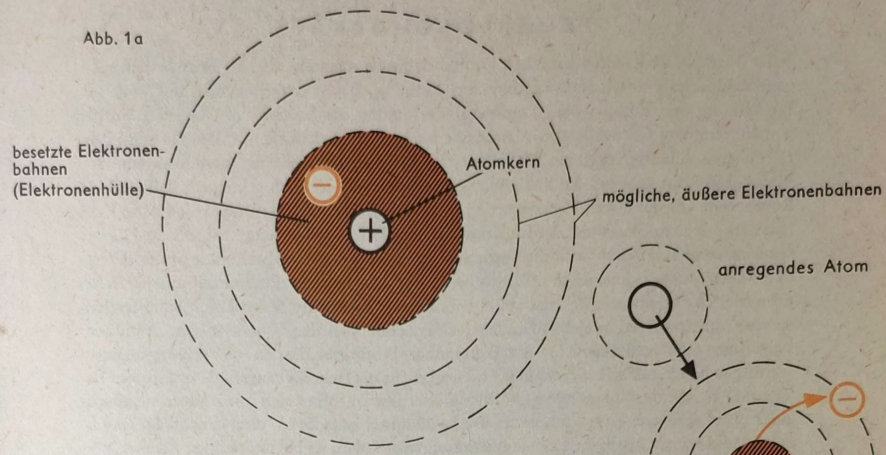


Abb. 5 Siebtrommelzentrifuge

WÄRMESTRAHLUNG

Der von uns als Wärme empfundene Zustand eines Körpers, dessen graduelle Abstufung wir als Temperatur messen, wird durch die Bewegung seiner Bausteine, der Atome bzw. Moleküle hervorgerufen. Diese schwingen bei einem festen und bei einem flüssigen Körper völlig ungeordnet um feste bzw. bewegliche Ruhelagen, bei einem gasförmigen Körper schwingen sie sogar ganz regellos durcheinander. Bei diesen thermischen Bewegungsvorgängen, die sich über einen weiten Energiebereich erstrecken — wobei die mittlere Energie um so größer ist, je höher die Temperatur ist —, finden laufend Zusammenstöße statt, bei denen auch Veränderungen in der Elektronenhülle, die den Atomkern eines Atoms umgibt, auftreten. In Abb. 1a ist ein Atom mit Kern und Elektronenhülle schematisch dargestellt. Außerhalb der Elektronenhülle sind gestrichelt noch Zustandsbereiche (Bahnen) von Elektronen angegeben, in die Elektronen aus der Hülle durch äußere Ereignisse angehoben werden können. Solche äußeren Ereignisse sind z. B. die thermischen Zusammenstöße (Abb. 1b). Durch sie kann ein Elektron in eine äußere Bahn befördert werden. Man nennt ein solches Atom (bzw. Molekül) thermisch angeregt. Auf dieser Bahn verharrt das Elektron jedoch nicht für immer, weil der angeregte Zustand nicht stabil ist. Es strebt daher durch meistens stufenweise sich vollziehenden Fall über die benachbarten Zustände wieder seinem ursprünglichen Platz in der Elektronenhülle zu — etwa in der Weise, in der ein Ball eine Treppe herunterrollt. Die Energiedifferenz zwischen den Stufen ist dabei gering. Bei diesen Übergängen strahlt das Atom nach der Bohrschen Atomtheorie (vgl. S. 20) eine elektromagnetische Strahlung aus, deren Wellenlänge um so größer ist, je kleiner die Energiestufe zwischen den benachbarten Zuständen (Bahnen) ist (Abb. 1c). Wir empfinden eine solche langwellige Strahlung als Wärmestrahlung. Sie schließt sich im Spektrum (s. S. 164) an das rote Licht an, man bezeichnet sie daher als Infra- oder Ultrarotstrahlung (ihre Wellenlänge liegt oberhalb von 0,8 μm). Ein vollständiges Spektrum einer solchen Strahlung liefert uns ein sogenannter „schwarzer Strahler" (Abb. 2). Es ist dies ein Hohlraum, in dessen einer Stirnfläche sich eine kleine Öffnung befindet. Der gesamte Strahler wird auf eine konstante Temperatur gebracht. Dann stellt sich im Inneren ein dieser Temperatur entsprechendes (Wärme-) Strahlungsgleichgewicht ein. Ein Teil dieser Strahlung entweicht durch die Öffnung und wird so der Beobachtung zugänglich. Umgekehrt verschluckt (absorbiert) der Hohlraum auch alle von außen durch die Öffnung eindringende Strahlung; er erscheint daher schwarz.

Abb. 1a



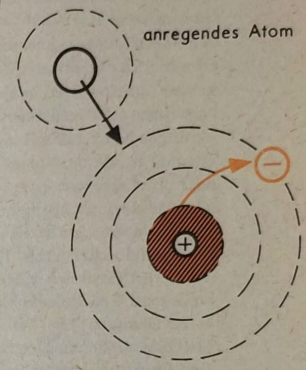


Abb. 1b Thermische Anregung (Elektron wird in äußere Bahn befördert)

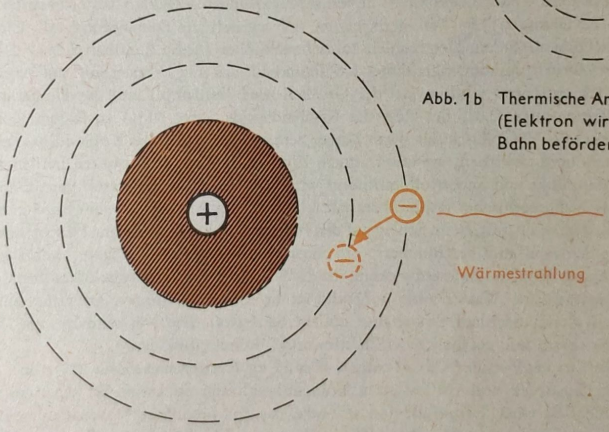


Abb. 1c Elektronenübergang ruft Strahlung hervor

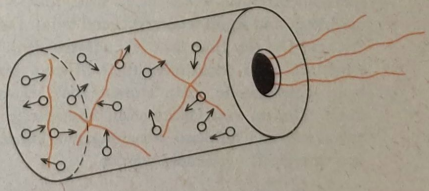


Abb. 2 Schwarzer Strahler

FEUERLÖSCHGERÄTE

Jeder normale Verbrennungsprozeß kommt dadurch zustande, daß an einer örtlich meist begrenzten Stelle durch starke Erhitzung (Reibung, Bestrahlung, chemische Oxydation, Einwirkung von Funken oder Flammen) Zersetzung des brennbaren Materials eintritt, wobei brennbare Gase entstehen. Diese entzünden sich, indem sie mit dem Sauerstoff der Luft chemisch heftig reagieren. Dabei entsteht Wärme, die wiederum weiteres brennbares Material in Gase zersetzt. Schließlich ist die Temperatur so hoch gestiegen, daß auch die Rückstände aus der ersten Hitzezersetzung (nämlich der zunächst zurückbleibende Kohlenstoff) mit dem Sauerstoff der Luft unter großer Hitzeentwicklung verbrennen. Die laufend freiwerdende Wärme hält die Verbrennung im Gange, bis der brennbare Stoff oder der zur Verbrennung notwendige Sauerstoff aufgebraucht ist. Feuerlöschmittel müssen daher entweder das brennbare Material abkühlen oder das brennbare Material mit einer festhaftenden unbrennbaren Schicht überziehen oder schließlich den Sauerstoff am Brandherd verdünnen oder verdrängen. Da es z. B. brennbare Stoffe gibt, die den zur Verbrennung notwendigen Sauerstoff selbst enthalten, und weil es für die Brandbekämpfung von großer Bedeutung ist, ob der brennende Stoff flüssig oder fest ist, ob er sich mit Wasser vermischt oder ob er schwerer oder leichter als das Löschmittel ist, gibt es unterschiedliche Löschmittel und unterschiedliche Brandbekämpfungsmethoden, wobei die richtige Anwendung jeweils eine gewisse Sachkenntnis erfordert.

Der Tetralöscher (Abb. 1) enthält 0,5 bis 6 l Tetrachlorkohlenstoff (mit Zusätzen), der durch den Gasdruck einer Flasche mit verflüssigtem Kohlendioxid aus dem Gerät gepreßt wird. Tetrachlorkohlenstoff vergast rückstandslos bei 76,5 °C zu schweren, unbrennbaren Dämpfen; das Tetragerät eignet sich speziell zur Bekämpfung von Elektro- und Maschinenbränden. Der Kohlensäureschneelöscher (Abb. 2) enthält 5 bis 6 l unter starkem Druck zusammengepreßtes Kohlendioxid, das im „Schneerohr" auf Atmosphärendruck entspannt wird, wobei der Großteil rasch verdampft und der Umgebung so viel Wärme entzieht, daß der Rest des Kohlendioxids (etwa 30 %) zu festem Kohlensäureschnee (– 79 °C) abgekühlt wird. Dieser Schnee wird durch das Kohlendioxidgas auf den Brandherd gewirbelt, wo unter seinem Einfluß die Temperatur unter den Entzündungspunkt sinkt und Sauerstoff verdrängt wird. Das Gerät ist universell verwendbar.

Der Naßfeuerlöscher (Abb. 3) enthält 6 bis 12 l Löschwasser, in dem Natriumbicarbonat (Natron) gelöst ist. Beim Schlag auf den Bolzen wird im Apparat eine Flasche mit verdünnter Schwefelsäure zertrümmert; die Säure reagiert mit dem Natron, wobei sich große Mengen Kohlendioxid entwickeln, die das Wasser in einem kräftigen Strahl zum Steigrohr hinauspressen. Wasser wirkt aufgrund seiner hohen Verdampfungswärme stark abkühlend, der Wasserdampf verdrängt zudem Sauerstoff. Die Verwendung von Wasser ist unwirksam und gefährlich bei Elektro- und Lösemittelbränden.

Der Trockenlöscher (Abb. 4) enthält 4 bis 12 kg Natriumbicarbonat (Natron), das durch den Gasdruck von verflüssigtem Kohlendioxid oder Stickstoff auf die Brandfläche geschleudert wird. Es zerfällt dort in Soda, das das brennbare Material mit einer luftabsperrenden Kruste überzieht, in Wasserdampf und Kohlendioxid, das den Luftsauerstoff verdrängt und somit feuererstickend wirkt. Die Anwendung des Gerätes richtet sich nach Art und Ort des Brandes (Sekundärschäden). In größeren Schaumlöschgeräten (Abb. 5) wird luft- oder stickstofferfüllter Schaum erzeugt, wobei als Schaummittel z. B. abgebaute Eiweißstoffe (etwa Hornabfälle) verwendet werden können. Der Schaum wird durch Zusätze von Harnstoffen, Kunstharzen u. a. stabilisiert. Er wirkt am Brandort erstickend und kühlend. Schaumgeräte können außer bei Elektro- und Maschinenbränden universell verwendet werden.

Abb. 1 Tetralöscher

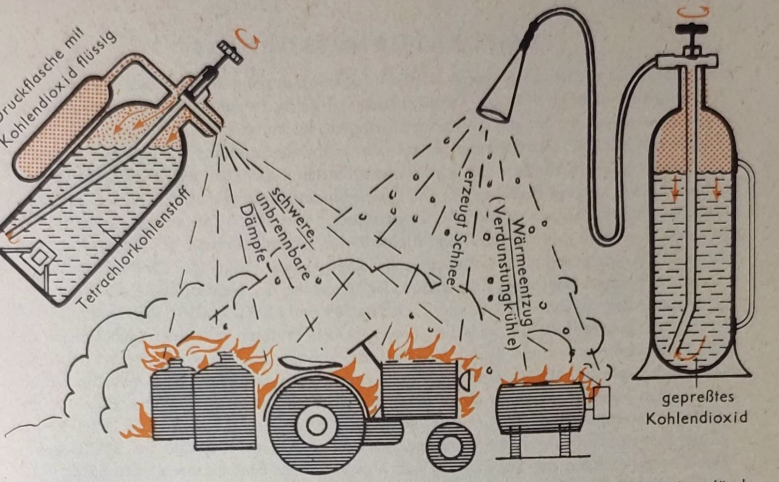


Abb. 2 Kohlensäureschneelöscher

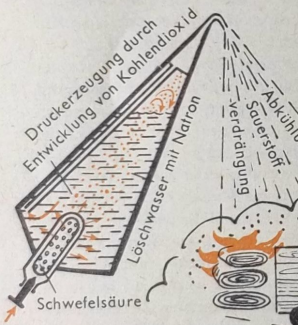


Abb. 3 Naßfeuerlöscher

Abb. 4 Trockenlöscher

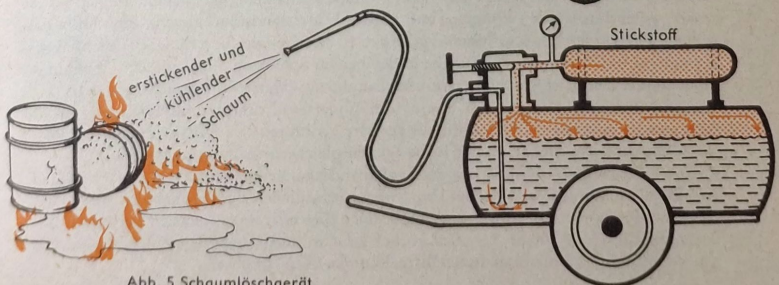


Abb. 5 Schaumlöschgerät

TEMPERATURMESSGERÄTE

1. Beim gewöhnlichen *Thermometer* wird die Eigenschaft der Stoffe, sich bei Temperaturerhöhung auszudehnen bzw. bei Temperaturerniedrigung zusammenzuziehen, ausgenützt. Diese Eigenschaft weisen die meisten gasförmigen, festen und flüssigen Stoffe auf.
Das gebräuchlichste Thermometer ist das Quecksilberthermometer. Es besteht aus einem Kapillarröhrchen (Röhrchen mit sehr kleinem Durchmesser), das am oberen Ende zugeschmolzen, am unteren Ende aber kugel- oder zylinderförmig erweitert ist. Diese Erweiterung ist mit Quecksilber gefüllt. Bei Erwärmung dehnt sich dieses aus und kann nur in die enge Kapillare ausweichen. Eine kleine Volumenvergrößerung bei Erwärmung hat daher schon einen merklichen Anstieg in der Kapillare zur Folge. Zur Eichung des Thermometers benützt man zwei Fixpunkte. Der untere ist der Gefrierpunkt, der obere der Siedepunkt des Wassers bei Normaldruck von 760 mm Hg (s. S. 256). Die Differenz der Höhe der Quecksilbersäule zwischen diesen beiden Punkten teilt man nach Celsius in 100 Teile und nennt einen Teil 1°C. Der Gefrierpunkt des Wassers liegt also bei 0°C, sein Siedepunkt bei 100°C. Unterhalb und oberhalb dieser Punkte trägt man die Grade in gleichen Abständen weiter auf. Andere Gradeinteilungen sind die nach Réaumur in 80 Teile (unterer Fixpunkt 0°R, oberer Fixpunkt 80°R) und die nach Fahrenheit in 180 Teile, wobei hier der Gefrierpunkt des Wassers bei 32°F und sein Siedepunkt bei 212°F liegt.
Bei Thermometern, die vorwiegend zur Messung von Temperaturen weit unter 0°C verwendet werden, kann man Quecksilber als Füllung nicht benützen, da dieses schon bei – 39°C erstarrt. Man füllt sie deshalb mit gefärbtem Alkohol, der einen wesentlich tieferen Gefrierpunkt hat. Die niedrigste Temperatur, die man sich theoretisch denken kann, ist der sog. absolute Nullpunkt von – 273,16°C oder 0°K (0 Grad Kelvin).
2. *Thermoelement:* Lötet man zwei Drähte aus Metall oder Metallegierungen (z. B. Kupfer und Konstantan oder Kupfer und Eisen) zusammen (Abb. 2a) und hält eine Lötstelle auf konstanter Temperatur, während man die andere Lötstelle erwärmt, so entsteht zwischen den beiden Stellen eine thermoelektrische Spannung, die um so größer ist, je größer die Temperaturdifferenz an den Lötstellen ist. Diese Anordnung nennt man ein Thermoelement. Die entstandene Spannung kann an einem Voltmeter abgelesen werden (Abb. 2b). Nach Eichung des Instrumentes kann ein Thermoelement zur Messung der Temperatur verwendet werden. Die Eichung geschieht dadurch, daß man die Höhe der Spannung bei einer bekannten Temperaturdifferenz feststellt. Da die Spannung an einem Thermoelement nur wenige Millivolt beträgt, schaltet man mehrere Elemente hintereinander (Abb. 3). So entsteht eine Thermosäule (Lötstellen abwechselnd warm und kalt).
3. Beim *Widerstandsthermometer* (Abb. 5) wird die Eigenschaft der meisten Metalle ausgenützt, bei höheren Temperaturen den Strom weniger gut zu leiten als bei niedrigeren, d. h. ihren Widerstand proportional der Temperaturzunahme zu erhöhen. Der Widerstand besteht aus Platin- oder Nickeldraht und ist so bemessen, daß er bei 0°C einen Widerstand von 100 Ohm hat. Damit die von der Temperatur abhängigen veränderlichen Widerstände gemessen werden können, muß an das Widerstandsthermometer eine Hilfsspannung angelegt werden. Zur Messung dient z. B. ein Kreuzspulinstrument. Das Meßwerk spricht auf das Verhältnis der Ströme in den beiden Spulen an. Während der Strom in der einen Spule durch einen temperaturunabhängigen Widerstand konstant gehalten wird, wird der Strom in der anderen Spule vom Widerstand des Drahtes bestimmt, der der Temperatur ausgesetzt ist. Schwankungen der Spannung des Hilfsstromes beeinflussen die Meßgenauigkeit nicht, da ihr beide Spulen gleichermaßen ausgesetzt sind.
4. *Bimetallthermometer* bestehen aus zwei aufeinandergelöteten Blechstreifen aus verschiedenen Metallen, die sich bei gleicher Erwärmung verschieden stark ausdehnen. Abb. 4 zeigt die Funktionsweise eines Meßgerätes mit einer Bimetallspirale, die sich bei Erwärmung krümmt. Ein Gerät dieser Art wird vorher geeicht, indem man den Zeigerausschlag bei einer bekannten Temperatur feststellt und an der Skala anschreibt.

Abb. 1
Thermometer

Quecksilber dehnt sich bei Erwärmung aus

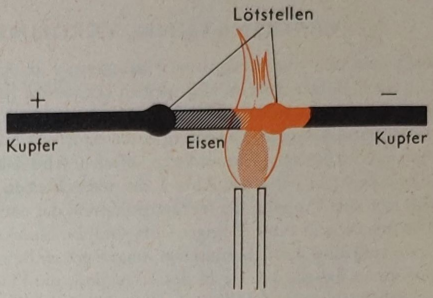


Abb. 2a
Thermoelement

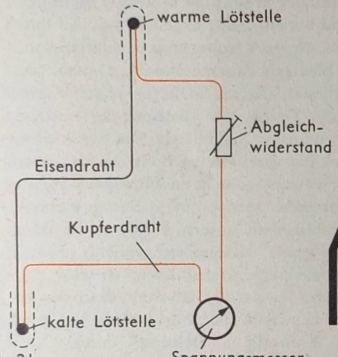


Abb. 2b
Schaltung zur Temperaturmessung mit Thermoelementen

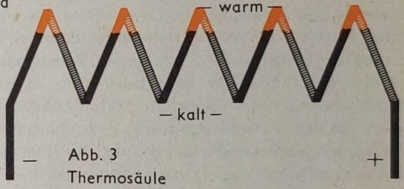


Abb. 3
Thermosäule

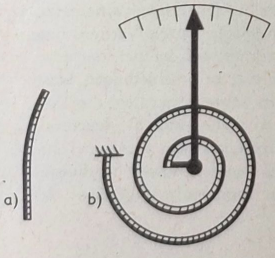


Abb. 4
a) Bimetallstreifen durch Temperaturänderung gebogen
b) Bimetallspirale als Thermometer

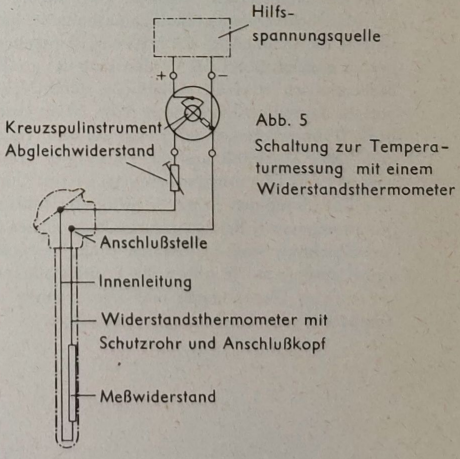


Abb. 5
Schaltung zur Temperaturmessung mit einem Widerstandsthermometer

VERDUNSTUNG, VERDUNSTUNGSKÜHLE

Gießt man sich eine handwarme Flüssigkeit, z. B. Alkohol, über die Hand (Abb. 1), so wird nach einiger Zeit im allgemeinen ein starkes Kälteempfinden ausgelöst. Es kommt dadurch zustande, daß die Flüssigkeit verdunstet, d. h., daß die Substanz in den gasförmigen Zustand übergeht. Die Energie, die erforderlich ist, um die Moleküle aus dem losen Verband des flüssigen Zustandes zu befreien, wird dabei in Gestalt von Wärmeenergie der Umgebung (im Falle der Abb. 1 der menschlichen Hand) entzogen. Im einzelnen hat man sich den Vorgang der Verdunstung und der damit verbundenen Abkühlung so vorzustellen, wie es Abb. 2 zeigt. Dort sind die Moleküle, welche infolge der Zusammenstöße aufgrund ihrer thermischen, ungeregelten Bewegung so hohe Bewegungsenergien gewonnen haben, daß sie in der Lage sind, die Flüssigkeitsoberfläche zu durchstoßen, rot gekennzeichnet. Sie bilden im Raum über der Flüssigkeitsoberfläche den gasförmigen Zustand der verdunstenden Substanz. Schwarz hingegen sind die Moleküle niedrigerer Energie gezeichnet, welche den flüssigen Zustand bilden. Es ist einleuchtend, daß durch die Abwanderung der Moleküle höherer Energie infolge Verdunstung der durchschnittliche (mittlere) Energiewert der Moleküle des flüssigen Zustandes sinkt. Diesem mittleren Energiewert ist aber eine Größe proportional, die als Maß für unser Wärme- bzw. Kälteempfinden allgemein bekannt ist, die *Temperatur*. Absinken der mittleren Energie bedeutet mithin Sinken der Temperatur und damit Abkühlung. Die Verdunstung findet so lange statt, bis der Dampf-(Gas-)Druck der verdunsteten Substanz im Außenraum bewirkt, daß ebenso viele Moleküle unter Wärmeabgabe in die Flüssigkeit zurückkommen (kondensieren) wie unter Wärmeaufnahme verdunsten (Gleichgewichtszustand). Wir spüren dies sehr deutlich im Wärmehaushalt unseres Körpers, der durch Wasserabsonderung (Schweiß) und Verdunstung im Wärmegleichgewicht gehalten wird. Ist der Wasserdampfdruck, d. h. die Luftfeuchtigkeit, sehr hoch, so wird diese Regulation gestört und wir empfinden die Umgebung als schwül. Man ahmt diesen biophysikalischen Regelvorgang nach, wenn man z. B. ein Gefäß mit Inhalt (Abb. 3 a) durch Umwickeln mit einem feuchten Tuch abkühlt. Auch die „Vereisung" durch Chloräthyl zur Schmerzunempfindlichmachung bei kleinen operativen Eingriffen ist hier anzuführen. Der Kühleffekt, der sich beim Besprengen von Straßen- und Gartenflächen ergibt, beruht gleichfalls auf der Verdunstung des großflächig ausgebreiteten Wassers (Abb. 3b). Meßtechnisch wird die Abkühlung durch Verdunstung im Taupunktmesser (Abb. 4) und im Aspirationshygrometer (Abb. 5) zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit eingesetzt. Beim Taupunktmesser wird eine polierte, vergoldete Metallfläche durch Verdunstung von Äther abgekühlt und die Temperatur (Taupunkt) bestimmt, bei der sich der erste Anflug eines Feuchtigkeitsbeschlages zeigt. Um die Abkühlung zu beschleunigen, bläst man Luft durch den Äther. Je größer die Luftfeuchtigkeit ist, desto höher liegt die Taupunkttemperatur. Beim Aspirationshygrometer werden ein trockenes und ein „feuchtes" (mit feuchtem Stoff am unteren Ende umwickeltes) Thermometer dem gleichen Luftstrom ausgesetzt. Je höher die Luftfeuchtigkeit ist, desto weniger Wasser verdunstet am feuchten Thermometer und desto weniger sinkt dessen Temperatur gegenüber der Temperatur des trockenen Thermometers.

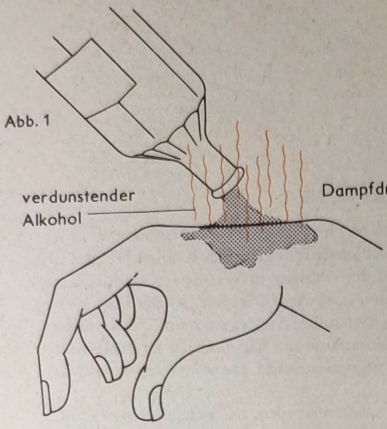


Abb. 1

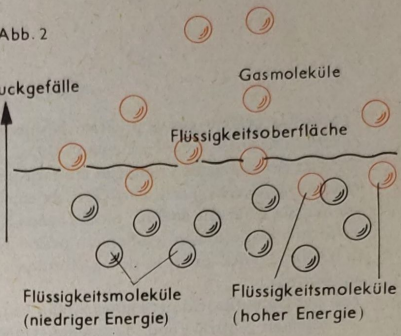


Abb. 2

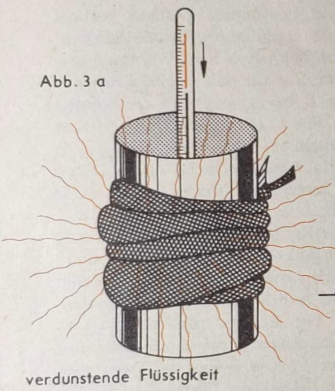


Abb. 3 a

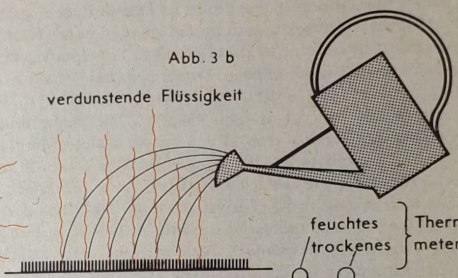


Abb. 3 b

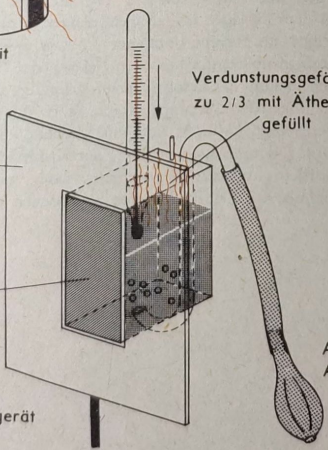


Abb. 4 Taupunktmeßgerät

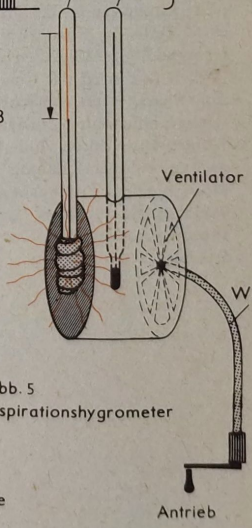


Abb. 5
Aspirationshygrometer

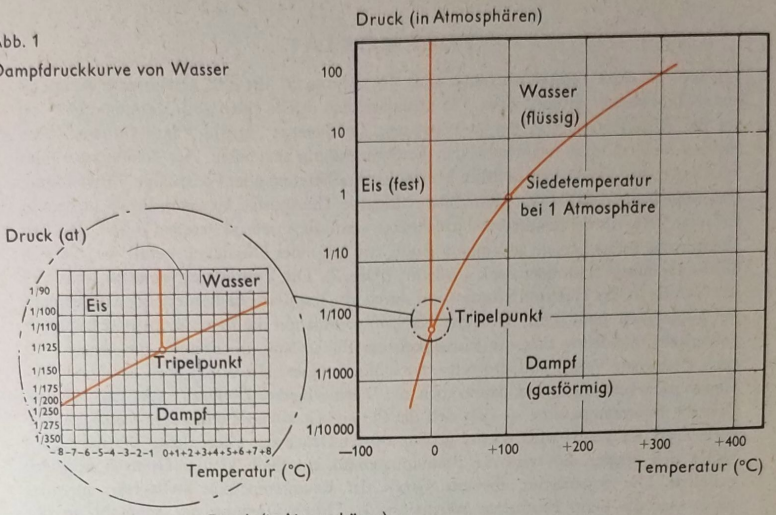
TROCKENEIS

Trockeneis besteht aus gepreßtem Kohlensäureschnee. Dies ist Kohlensäure in festem Zustand mit einer Temperatur von – 79 °C. Kohlensäure (eigentlich Kohlendioxid, CO_2) ist unter normalen Bedingungen ein farb- und geruchloses, in Wasser säuerlich schmeckendes Gas, dessen spezifisches Gewicht eineinhalbmal so groß ist wie das der Luft. Genau wie Wasser (und alle anderen Stoffe) kann CO_2 in den drei Aggregatzuständen fest, flüssig, gasförmig vorkommen. Außerdem besitzt Kohlensäure die Eigenschaft, zu sublimieren, d. h. direkt vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand überzugehen, ohne flüssig zu werden.

Aus der Dampfdruckkurve eines Stoffes kann ersehen werden, bei welchen jeweils unterschiedlichen Druck- und Temperaturverhältnissen ein bestimmter Zustand vorliegt (Abb. 1 und 2). Gemäß den Linien im Dampfdruckdiagramm erfolgt jeweils der Übergang von einem Aggregatzustand in den anderen unter Wärmeaufnahme bzw. Wärmeabgabe. Besonders interessant ist dabei der sog. Tripelpunkt, an dem alle drei Aggregatzustände zusammen vorliegen können. Dieser liegt bei Wasser z. B. bei einem Druck von 4,6 mm Quecksilbersäule ($\approx$ 6/1000 at; Abb. 1) und 0,01 °C. Für CO_2 dagegen (Abb. 2) liegt dieser Punkt bei 5,1 at und – 56,2 °C. Die Dampfdruckkurve gibt die Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck an; so siedet (Abb. 1) Wasser z. B. bei einem Druck von 1 Atmosphäre bei 100 °C, Kohlensäure (Abb. 2) trotz eines Drucks von rd. 60 at schon bei 0 °C, wie aus den Abb. 1 und 2 ersichtlich ist.

Zur Herstellung von Kohlensäureschnee kühlt man das Kohlendioxid bei hohem Druck (bis 70 at) ab und verflüssigt es dadurch. Durch weitere Abkühlung gelangt man dann in die Nähe des Tripelpunktes. Nun wird die unter Druck stehende, flüssige Kohlensäure plötzlich entspannt, die Flüssigkeit zersprüht und wird zu Schnee, da die Verdunstung eines Teils der Flüssigkeit den Rest stark abkühlt. Die Energie nämlich, die zum Übergang von Molekülen aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand erforderlich ist (vgl. S. 36), wird der Umgebung als Wärme entzogen. In Abb. 2 wird die Trennungslinie flüssig – fest überschritten, man kommt aus dem Bereich der flüssigen in den der festen Kohlensäure. Zur Durchführung der beschriebenen Vorgänge wird die gasförmige Kohlensäure durch drei- bis vierstufige Kompressoren (s. S. 46) mit zwischen- und nachgeschalteter Kühlung verflüssigt (Abb. 3) und anschließend die flüssige Kohlensäure in einem Turm entspannt. Dadurch wird etwa $^1/_3$ der Kohlensäure in Schnee verwandelt; die restlichen $^2/_3$ werden gasförmig abgezogen, wieder verdichtet und in den Prozeß zurückgeführt. Der Schnee wird durch Pressen zu Blöcken von 20–120 kg verarbeitet.

Abb. 1
Dampfdruckkurve von Wasser



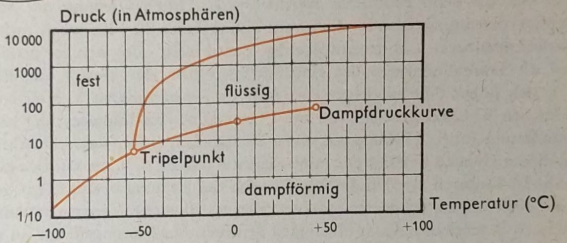


Abb. 2 Dampfdruckkurve von Kohlensäure (CO_2)

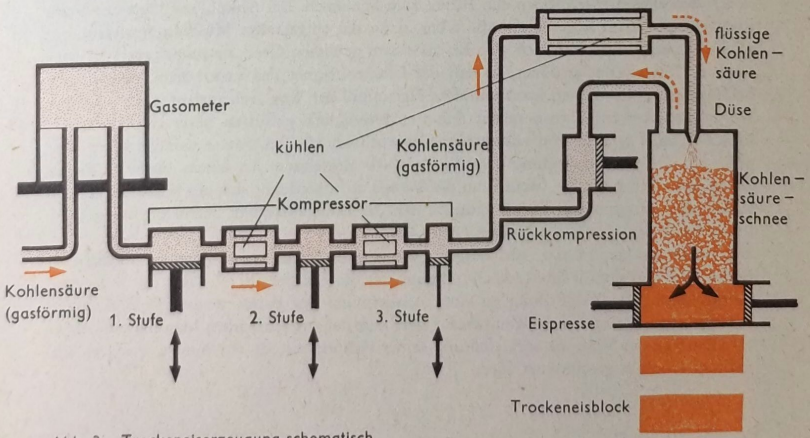


Abb. 3 Trockeneiserzeugung schematisch

THERMOSTAT

Thermostate oder Temperaturregler sind Vorrichtungen, die eine gewünschte Temperatur auf konstanter Höhe halten. Sie erreichen das durch einen sog. Temperaturfühler, der die Abweichung von der gewünschten Temperatur „erfühlt" und Informationen darüber an ein Organ weitergibt, das die Schwankung ausgleicht. Als Temperaturfühler finden u. a. mit Flüssigkeit gefüllte Rohre, Bimetallstreifen oder Federbälge Verwendung. Das einfachste Gerät ist der *unmittelbar* wirkende Thermostat. Er nutzt die Tatsache aus, daß sich fast alle Flüssigkeiten ausdehnen, wenn sie erwärmt werden (Abb. 1). Der Thermostat selbst besteht aus einem Rohr, das mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, die sich bei Erwärmung besonders stark ausdehnt (Abb. 2). Die Verbindung zum Steuerkörper des Ventils in der Heizrohrleitung wird durch ein Kapillarrohr hergestellt, das ebenfalls mit Flüssigkeit gefüllt ist. Wird nun die Luft- und damit die Raumtemperatur höher als gewünscht, so dehnt sich die Flüssigkeit im Fühler aus, überwindet die Gegenkraft einer Feder am Ventil und drosselt oder schließt dieses. Hierdurch wird der Strom des Heizmittels verringert und damit auch die Wärmeabgabe. Dadurch sinkt nach einiger Zeit die Raumtemperatur, so daß sich die Flüssigkeit abkühlt und zusammenzieht. Die Federkraft am Ventil wird wieder größer als der Druck der Flüssigkeit, und das Ventil öffnet sich wieder. So wird die Raumtemperatur innerhalb kleiner Grenzen konstant gehalten. Die gewünschte absolute Größe der Raumtemperatur stellt man an einer Skala ein, die beim Hersteller geeicht wurde. Durch Drehung der Schraube an der Reguliervorrichtung wird die Feder am Ventil durch die Flüssigkeit mehr oder weniger zusammengedrückt und demzufolge das Ventil mehr oder weniger geöffnet. Hierdurch wird die Durchflußmenge des Heizmittels größer oder kleiner, die Raumtemperatur stellt sich höher oder niedriger ein (Abb. 2). Einen anderen Typ stellen die *mittelbar* wirkenden Thermostate dar, die zur Übertragung des Impulses, der zur Temperaturveränderung führt, Hilfsenergie (etwa elektrischen Strom oder Druckluft) benötigen. Bei diesen Geräten betätigt der Fühler einen Kontakt, d. h., er schließt einen Stromkreis (Abb. 3). Dadurch werden die Regelorgane der Heizung betätigt (ein Ventil wird z. B. durch einen Elektromagneten geöffnet oder geschlossen). Verwendet man beispielsweise den oben beschriebenen, mit Flüssigkeit gefüllten Ausdehnungsfühler, so schließt die sich bei steigender Temperatur ausdehnende Flüssigkeit den Kontakt. Das Ventil erhält dann durch den elektrischen Strom den Befehl zum Schließen. Bei Abkühlung läuft der Vorgang entsprechend gegenläufig ab. Wenn dann die eingestellte Mindesttemperatur erreicht ist, die Flüssigkeit sich also bis zu einem gewissen Grad zusammengezogen hat, wird der Stromkreis geöffnet, so daß der Elektromagnet das Ventil nicht mehr in der Schließstellung festhalten kann und dem Heizmittel der Weg freigegeben wird.

Als Fühler verwendet man neben den mit Flüssigkeit gefüllten noch sog. Bimetallfühler (Abb. 4 a). Das sind zusammengefügte dünne Streifen zweier verschiedener Metalle, die sich bei Erwärmung verschieden stark ausdehnen. An einem Ende ist dieser Bimetallstreifen befestigt. Steigt nun die Temperatur, so dehnt sich ein Metall stark, das andere nur schwach aus. Damit krümmt sich der Bimetallstreifen und kann mit seinem freien Ende den Kontakt betätigen (Abb. 4b).

Die dritte Art der Fühler sind Bälge, die mit einer leicht verdampfenden Flüssigkeit oder einem Gas gefüllt sind (Abb. 4c). Steigt hier die Temperatur, so führt die Volumenvergrößerung der Balgfüllung zu einer Ausdehnung des Balgs, wodurch ein Kontakt betätigt wird. Bei sinkender Temperatur zieht sich der aus federndem Material gefertigte Balg infolge der Volumenverkleinerung seiner Füllung wieder zusammen, wodurch ein anderer Kontakt geschlossen wird.

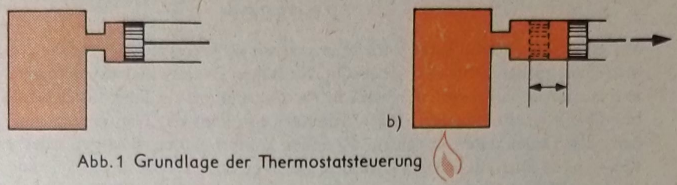


Abb. 1 Grundlage der Thermostatsteuerung

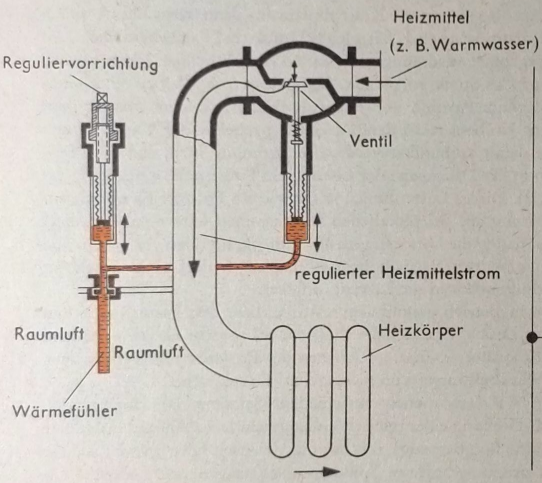


Abb. 2 Thermostat für eine Raumheizung (unmittelbare Wirkung)

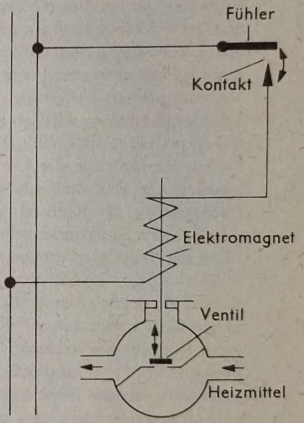


Abb. 3 Schema eines mittelbar wirkenden Thermostaten

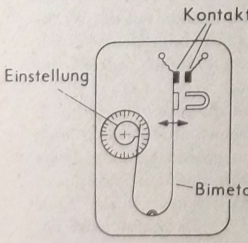


Abb. 4a Bimetallfühler

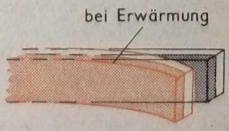


Abb. 4b Prinzip des Bimetallstreifens

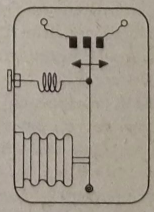


Abb. 4c Balgfühler

PRESSEN

Mit Hilfe von Pressen kann Verformungsarbeit an Werkstücken geleistet werden, indem man einen großen Druck auf sie ausübt. Nach ihrer Bauart unterscheidet man hydraulische und mechanische Pressen. *Hydraulische Pressen* benutzen als Triebmittel ein Gas oder eine Flüssigkeit (meist Wasser). Ihrer Wirkungsweise liegt ein Naturgesetz zugrunde, nach dem der Druck eines in einem Zylinder komprimierten flüssigen oder gasförmigen Mediums an allen Stellen des Zylinders gleich groß ist. Druck ist die Wirkung einer Kraft auf eine Fläche. Wenn man nach Abb. 1 mit einem kleinen Kolben in einem kleinen Zylinder an einer Seite des Druckraumes die Flüssigkeit zusammenpreßt und die andere Seite des Druckraumes mit einem großen Kolben abschließt, so hat man folgende Verhältnisse: Auf der einen Seite wirkt eine kleine Kraft auf eine kleine Fläche und erzeugt einen bestimmten Druck. Auf der anderen Seite wirkt dieser Druck auf eine große Fläche. Vom großen Kolben kann man also eine große Kraft abnehmen (denn wenn Druck gleich Kraft pro Flächeneinheit ist, dann ist auch Kraft gleich Druck mal Flächeneinheit). Das Volumen, das bei diesen Vorgängen verdrängt wird, ist jedoch auf beiden Seiten gleich; der kleine Kolben muß ein großes Stück vorrücken, damit der große Kolben ein kleines Stück vorwärtsbewegt wird. Zum Antrieb von hydraulischen Pressen verwendet man anstelle eines einzigen kleinen Kolbens meist deren drei, die nacheinander Wasser in den Zylinder pressen. Damit die damit verbundene stoßweise Strömung nicht auf den Preßzylinder übertragen wird, ist in der Druckseite der Leitung ein Puffergefäß eingebaut, das teilweise Luft enthält (Abb. 2). Dieses Luftvolumen wirkt wie ein Polster: Es nimmt zunächst den Druck in der Leitung an. Bei plötzlichen Druckspitzen wird es noch weiter zusammengepreßt und baut damit die Druckspitzen ab. Umgekehrt kann es, wenn die Fördermenge des Kolbens bei kurzzeitigem hohem Flüssigkeitsbedarf nicht ausreicht, durch eigene Entspannung Flüssigkeit in die Leitung drücken.

Wird die Wasserpreßpumpe in Betrieb genommen, so füllt diese den Preßzylinder mit Wasser und erzeugt hier einen Druck, wodurch der Preßstempel abwärts bewegt wird und auf das Werkstück eine Kraft ausübt. Zum Zurückziehen des Preßstempels werden zwei kleine Kolben benutzt, auf die Preßwasser von niedrigerem Druck wirkt.

Zum Antrieb der *mechanischen Pressen* dienen verschiedene Systeme. Bei der Spindelpresse (Abb. 3a) wird durch Drehung einer mit Schraubengewinde versehenen Spindel in einer feststehenden Mutter eine Kraft erzeugt, mit der die Unterseite der Spindel auf das zu bearbeitende Werkstück drückt. Einfache Spindelpressen tragen am oberen Ende der Spindel ein Handrad (Abb. 3b), mit dessen Hilfe die Spindel gedreht wird.

Bei größeren Pressen sitzt am oberen Ende der Spindel ein großes Schwungrad, d. h. ein großes Rad mit großer Schwungmasse, das – in Drehung versetzt – eine hohe Energie speichern kann. Die gespeicherte hohe Drehenergie wird über die Spindel auf das Werkstück übertragen und dort in Verformungsarbeit umgesetzt. Das Schwungrad wird durch ein Reibrad angetrieben. Zum Zurückziehen dient ein weiteres Reibrad, welches das Schwungrad entgegengesetzt antreibt (Abb. 3a).

Eine weitere Abart der mechanisch angetriebenen Pressen sind die Exzenter- (Abb. 4) und die Kurbelpressen (Abb. 5). In beiden Fällen wird ein Schwungrad von großem Durchmesser von einer Antriebsmaschine angetrieben. Die am großen Umfang dieses Rades wirkende verhältnismäßig kleine Kraft und die bei Verformung des Werkstückes infolge Abbremsen des Schwungrades freiwerdende Drehenergie erzeugen an der Welle ein Drehmoment (s. S. 580), das an dem kleinen Halbmesser des Exzenters bzw. der Kurbel eine verhältnismäßig große Kraft entstehen läßt.

Abb. 1 Prinzip der hydraulischen Presse

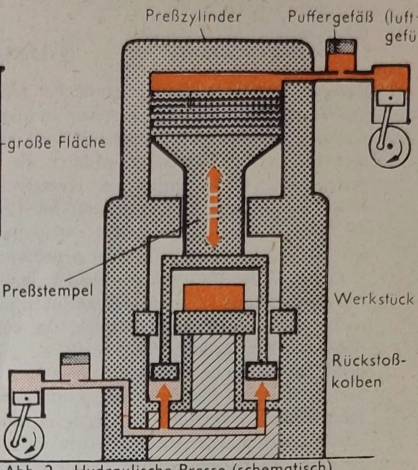


Abb. 2 Hydraulische Presse (schematisch)

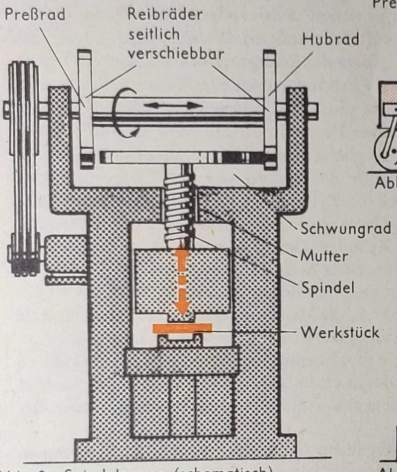


Abb. 3a Spindelpresse (schematisch)

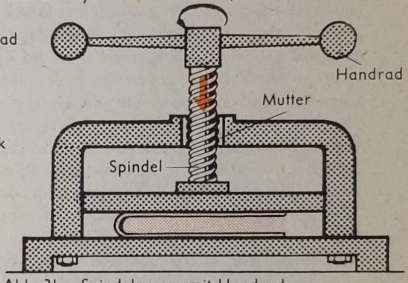


Abb. 3b Spindelpresse mit Handrad

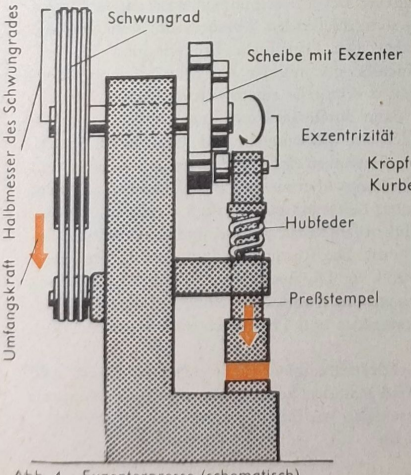


Abb. 4 Exzenterpresse (schematisch)

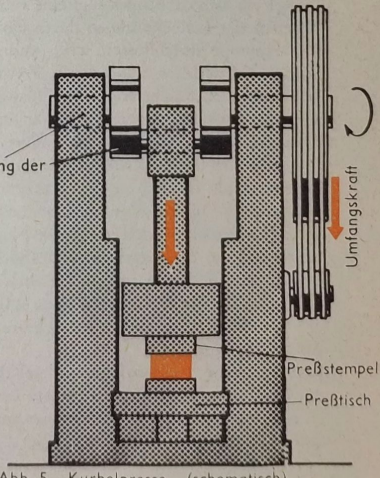


Abb. 5 Kurbelpresse (schematisch)

PUMPEN

Pumpen dienen u. a. der Förderung von Flüssigkeiten und dem Auspumpen von Luft- und Gasbehältern. Das Arbeitsprinzip ist folgendes: Einerseits wird Unterdruck erzeugt, wodurch die Flüssigkeit angesaugt wird, andererseits wird ein Überdruck gegenüber dem Gegendruck hergestellt, wodurch die Flüssigkeit weggedrückt wird. Nach den verschiedenen Arbeitsprinzipien unterscheidet man unterschiedliche Pumpentypen: 1. Kolbenpumpen, die mit hin und her bzw. sich auf und ab bewegenden oder sich drehenden Kolben arbeiten, 2. Kreiselpumpen, die mit sich drehenden Schaufelrädern arbeiten, 3. Strahlpumpen, die das Arbeitsvermögen von strömenden Medien ausnutzen.

1. *Kolbenpumpen:* Wird ein in einem Zylinder geführter Kolben (Abb. 1) von seiner Ausgangsstellung (Totpunkt) weggeführt, so strömt in den freigegebenen Raum Wasser nach, weil der Atmosphärendruck, der auf dem äußeren Wasserspiegel lastet, das Wasser in den Zylinder hineinpreßt, wo infolge des Rückgangs des Kolbens ein Unterdruck entstanden ist. Dem Atmosphärendruck hält theoretisch eine Wassersäule von zehn Meter Höhe das Gleichgewicht; somit hätte also eine Pumpe eine Ansaughöhe von zehn Metern. Jedoch hat die Flüssigkeit einen Dampfdruck und muß im Rohr Widerstände überwinden, so daß die tatsächliche Saughöhe im allgemeinen nur etwa 7 m beträgt (Abb. 2). In seinem anderen Totpunkt kehrt der Kolben um, das Saugventil wird durch den jetzt größer gewordenen Druck im Zylinder geschlossen, das Druckventil geöffnet. Beim Ansaugvorgang bleibt das Druckventil geschlossen, da in der Druckleitung ein größerer Druck herrscht als im Zylinder. Der Kolben schiebt die Flüssigkeit nun aus dem Zylinder gegen den in der Druckseite herrschenden Druck aus. Sonderbauarten der Kolbenpumpen sind die Hubpumpen, bei denen die Flüssigkeit beim Hochsteigen des Kolbens ausgestoßen wird (Abb. 3), die Membranpumpen, bei denen anstelle des Kolbens eine biegsame Membran in einem Gehäuse eingespannt ist und von einem Stößel hin- und herbewegt wird (Abb. 4), und schließlich die Flügelpumpen, bei denen der Kolben durch einen Flügel ersetzt ist, der in einem kreisrunden Gehäuse geschwenkt wird (Abb. 5). Die Saugventile sitzen dabei fest auf der Unterseite des geteilten Gehäuses, die Druckventile in dem Flügel.

2. *Kreiselpumpen:* Kreiselpumpen sind umgekehrt wirkende Francis-Wasserturbinen (s. S. 80). Bei den Turbinen treibt das strömende Wasser ein Rad an, in den Pumpen fördert ein sich drehendes Rad eine Flüssigkeit. Bei Kreiselpumpen wird das stoßweise Arbeiten der Kolbenpumpen durch einen stetig fließenden Wasserstrom, von dem die Kreiselpumpe durchflossen wird, vermieden. Der Druck zur Überwindung der verlangten Förderhöhe wird durch Zentrifugalbeschleunigung der Flüssigkeit in einem sich drehenden Rad erzeugt. Die Flüssigkeit strömt axial einem sich drehenden Rad zu, wird im Vorraum umgelenkt und strömt dann durch die Kanäle nach außen weg. Die Flüssigkeit wird dabei in eine andere Richtung gezwungen und dabei beschleunigt. Dadurch wird der meßbare Druck am Austrittsstutzen der Pumpe merklich erhöht und die strömende Flüssigkeit kann Höhendifferenzen überwinden. Nach Austritt aus dem Rad tritt die Flüssigkeit in einen sogenannten Leitkranz ein, in dem durch sich erweiternde Kanäle die schnell strömende Flüssigkeit langsamer geführt und die Geschwindigkeitsenergie in Druckenergie verwandelt wird. Die Restumwandlung erfolgt in einem nachfolgenden spiralförmigen Gehäuse (Abb. 6). Die beschriebene Pumpe kann jedoch nur geringere Drücke überwinden. Will man eine Pumpe mit einem größeren Förderdruck bauen, so schaltet man mehrere Laufräder und Leitkränze hintereinander (vgl. Abb. 8 gegen Abb. 7).

Kreiselpumpen können in der Regel die Förderflüssigkeit nicht selbst ansaugen, weil mit Luft, die sich zu Beginn in dem Laufrad befindet, keine genügend große Saugkraft erzeugt werden kann. Kreiselpumpen müssen also vor Inbetriebnahme gefüllt werden.

Zur Wirkungsweise der *Strahlpumpen* s. S. 10.

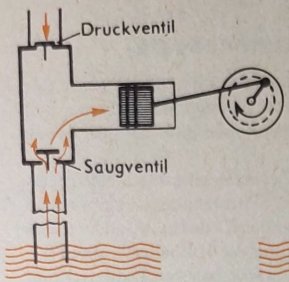


Abb. 1 Arbeitsweise einer Kolbenpumpe

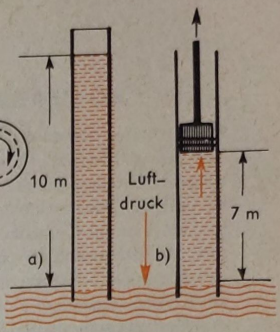


Abb. 2 Theoretische (a) und praktische (b) Saughöhe

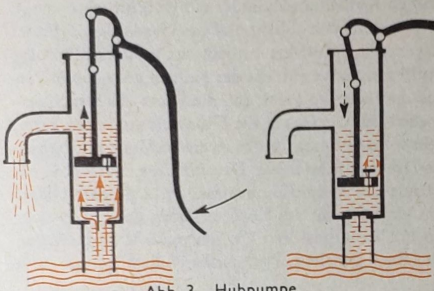


Abb. 3 Hubpumpe

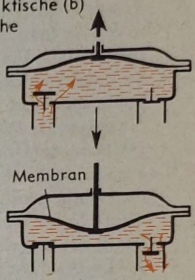


Abb. 4 Membranpumpe

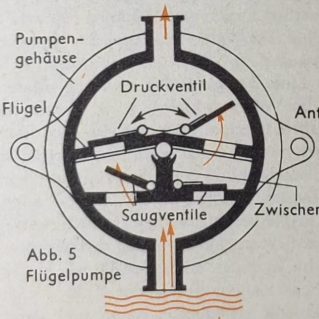


Abb. 5
Flügelpumpe

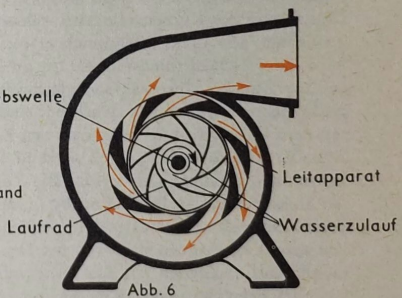


Abb. 6
Kreiselpumpe schematisch

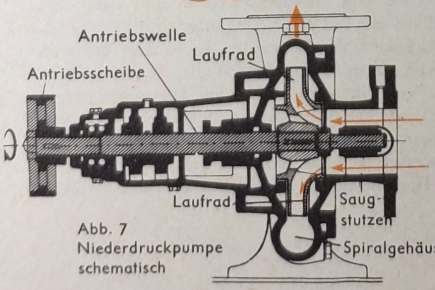


Abb. 7
Niederdruckpumpe
schematisch

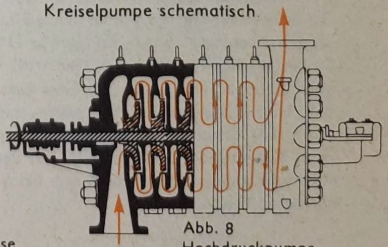


Abb. 8
Hochdruckpumpe
schematisch

KOMPRESSOREN (KOLBENKOMPRESSOR)

Kompressoren dienen der Verdichtung von Gasen und Dämpfen auf höhere Drücke (bis 2000 atü und höher). Dabei ist den Kolbenverdichtern die Erzeugung von hohen und höchsten Drücken vorbehalten, während die Turbokompressoren (s. S. 334) für kleine bis mittlere Drücke verwendet werden.

In Abb. 1 ist ein Kolbenkompressor dargestellt. Die Kurbelwelle wird durch eine geeignete Antriebsmaschine (Elektromotor, Dampfmaschine, Verbrennungskraftmaschine usw.) über ein Schwungrad angetrieben. Das einerseits an der Kurbelwelle, andererseits am Kolben angelenkte Pleuel erzeugt aus der Drehbewegung der Kurbelwelle eine Hin- und Herbewegung des Kolbens im Zylinder. Die Ventile sind federbelastete Plattenventile, die auf die durch die Kolbenbewegung erzeugten Druckschwankungen reagieren. Beim Ansaugen wird durch den zurückgehenden Kolben im Zylinder ein Unterdruck erzeugt, so daß die Platte (Abb. 2) sich gegen den Federdruck abhebt und das Gas in den Zylinder strömen läßt. Bei Beginn des Aufwärtsgangs des Kolbens schließt das Saugventil infolge des entstehenden Überdrucks; die Verdichtung setzt ein, bis der Kolben am oberen Totpunkt angelangt ist. Jetzt ist der Druck des Gases so groß, daß die Platte des Druckventils gegen die Federkraft abgehoben wird und das Gas in die Druckleitung treten kann. Die Feder des Druckventils braucht nicht so stark zu sein, wie es im ersten Moment scheinen könnte, denn auf der anderen Seite des Druckventiles in der Druckleitung herrscht ja ein nur wenig geringerer Druck als am Ende des Verdichtungshubes im Zylinder. Dieser Druck in der Druckleitung sorgt beim Abwärtsgang des Kolbens dafür, daß das Druckventil geschlossen wird. Meist werden mit Kompressoren Zwischengefäße (sog. Puffer, bei Luftverdichtung Windkessel) unter Druck gehalten. Von diesen Puffern werden dann die Verbrauchsstellen gespeist.

Für den Arbeitsverlauf bei Kompressoren ist das sog. Indikatordiagramm (Abb. 3) kennzeichnend. Hier wird der Zusammenhang zwischen Druck und Volumen während einer Umdrehung der Kurbelwelle, also während eines Hin- und Herganges des Kolbens aufgezeichnet. Die Linie 1 kennzeichnet das Ansaugen, d. h., das Gasvolumen im Zylinder wird bei gleichem (niederen) Druck größer. Linie 2 zeigt die Verdichtung. Man sieht, daß der Druck steigt, während gleichzeitig das Volumen kleiner wird, da man Gas ja zusammenpressen kann (Versuch mit einer Fahrradpumpe: Hält man das Austrittsventil mit dem Daumen zu, so kann man den Kolben nur um einen bestimmten Betrag in den Zylinder hineinschieben, die Luft wird verdichtet). Linie 3 ist die Ausschublinie: Bei konstantem (hohem) Druck wird das Volumen im Zylinder kleiner. Linie 4 zeigt, daß das Ansaugventil sich beim Hingang (nach rechts) des Kolbens zunächst noch nicht sofort öffnen kann, da sich erst der am Ende der Verdichtung im Zylinder verbleibende Gasrest soweit entspannen muß, bis der Druck im Zylinder unter den Druck in der Ansaugleitung abgefallen ist. Erst dann öffnet das Saugventil. Da der Kolben nicht am Zylinderdeckel anstoßen darf, ist immer ein sog. schädlicher Raum und damit ein unerwünschter Gasrest vorhanden, so daß nur ein Teil des Ansaughubs wirklich zum Ansaugen ausgenutzt wird. Sind große Druckstufen zu überwinden, so wird in mehreren Stufen verdichtet, d. h., das Gas wird von einem Kompressorzylinder in den anderen geleitet (Abb. 4). Da sich die Gase beim Verdichten erwärmen – die Fahrradluftpumpe wird beim Pumpen ebenfalls warm –, muß zwischen den einzelnen Stufen gekühlt werden (Abb. 4 a). Diese mehrstufigen Kompressoren sind meist doppeltwirkend gebaut, d. h., beim Hingang des Kolbens wird auf der einen Seite des Kolbens verdichtet und auf der Rückseite angesaugt, während sich beim Hergang des Kolbens der umgekehrte Vorgang abspielt (Abb. 4 b).

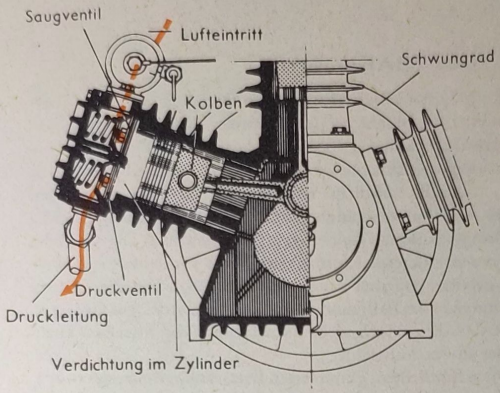


Abb. 1 Schnitt durch einen Kompressor

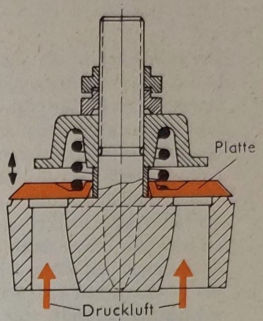


Abb. 2 Druckventil

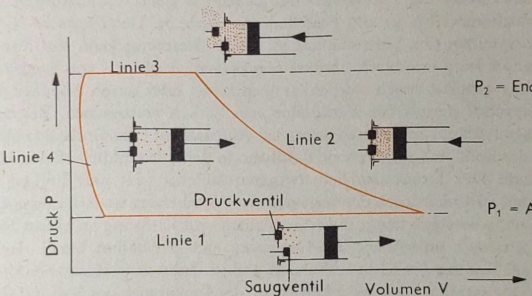


Abb. 3

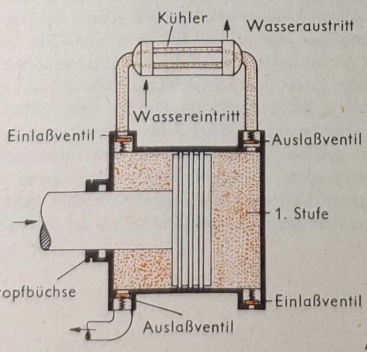


Abb. 4a

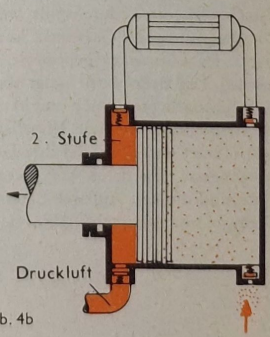


Abb. 4b

LUFTBALLON

Der Luftballon ist ein „Leichter-als-Luft-Luftfahrzeug". Seine Fähigkeit, sich vom Erdboden weg in die Atmosphäre zu erheben, beruht auf dem Auftrieb, den er nach dem Archimedischen Prinzip (vgl. S. 674) erfährt, weil das vom Ballonkörper umschlossene Volumen leichter als die von ihm verdrängte Luftmenge ist (Abb. 1). Ein Luftballon steigt in die Luft bis in diejenige Höhe, in der die Luftdichte so gering ist, daß das Gewicht des Ballons gleich dem Gewicht der von ihm verdrängten Luftmenge ist (Gleichgewicht). In der Abbildung ist der kugelförmige Ballon in Luft eingebettet gezeichnet. Das Gewicht der Ballonhülle ist beim gezeichneten Kräftespiel vernachlässigt. Es verkleinert natürlich als tote Last den Auftrieb. Den größten Auftrieb würde man erhalten, wenn das Füllgas das Gewicht Null hätte, d. h., wenn man das Balloninnere evakuieren würde. Aus Gründen der mechanischen Stabilität läßt sich dies jedoch nicht durchführen (die tote Last einer solchen starren Hülle wäre größer als der Auftrieb).

Der Ballonkörper besteht aus einem luftdichten, gummierten Leinwandgewebe, das durch ein Gas, das leichter als Luft ist, zur Kugel- oder Zylinderform aufgeblasen wird. Ein solches Gas kann schon erwärmte, d. h. also verdünnte Luft sein. Der erste Luftballon, der sich am 19. 9. 1783 in Versailles in die Lüfte erhob, war ein solcher Warmluftballon, nach seinen Erfindern, den Gebrüdern Montgolfier auch „Montgolfiere" genannt. In der Regel füllt man heute die Luftballons mit Leuchtgas oder Wasserstoffgas. Man unterscheidet Freiballons (Abb. 2) und Fesselballons (Abb. 3). Der *Freiballon* ist mehr oder weniger ein Spielball der Luftströmungen. Seine Besatzung kann ihn nur beschränkt manövrieren. Sie kann ihn durch Abwurf von Ballast (Ausleeren von Sandsäcken, die zu diesem Zwecke mitgenommen werden) steigen lassen oder durch Ablassen von Füllgas über das Gasventil mittels der Ventilleine sein Sinken verursachen. Bei der Landung dient ein ausgeworfenes Schlepptau dazu, den Aufprall auf dem Erdboden abzudämpfen, eine mittels der Reißleine aufgerissene Reißbahn in der Ballonhülle soll den Ballonkörper rasch entleeren. Der Druckausgleich zwischen äußerer Luft und Füllgas findet über den Füllstutzen statt, der durch den sogenannten Poeschelring am Zusammenfallen gehindert wird. Der Ballonkorb hängt über Korbleinen und Korbring an einem Netz, das den ganzen Ballonkörper umschließt. Im Gegensatz zum Freiballon bleibt der *Fesselballon* über ein langes Tau mit der Erde verbunden und ist dadurch an seinen Standort gefesselt. Um ihn in einer stabilen Lage zu erhalten, ist der Innenraum des Ballonkörpers in drei Ballonetts aufgeteilt, von denen der Luft- und Steuersack von Luft je nach der Windstärke verschieden stark durchspült werden; nur das größte Ballonett dient als Gasraum. Die Betätigung des Gasventils ist mit der im Inneren des Ballonkörpers liegenden Trennwand des Luftsackes gekoppelt, wodurch automatisch die Druckverhältnisse geregelt werden. Der Ballonkorb hängt ebenfalls an einem Netzwerk. Die Form des Ballonkörpers ist zylindrisch. Steuersack und in der Abb. 3 nicht sichtbare Seitenwülste dienen der Stabilisierung. Freiballon und Fesselballon gehören zu den unstarren Luftfahrzeugen, da sie kein Gerüst enthalten, das ihre Gestalt festlegt. Anders ist dies bei den starren „Ballonfahrzeugen", als deren hervorragendster Vertreter das Zeppelinluftschiff bekannt ist. Dort sind die den Auftrieb liefernden Ballonetts in einzelnen Zellen des formgebenden Gerippes untergebracht (Abb. 4).

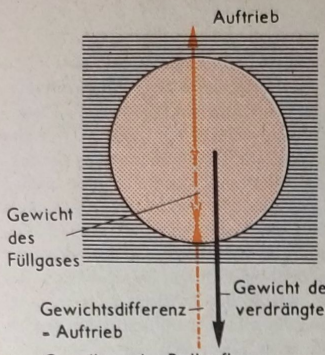


Abb. 1 Grundlage des Ballonfluges: Archimedisches Prinzip

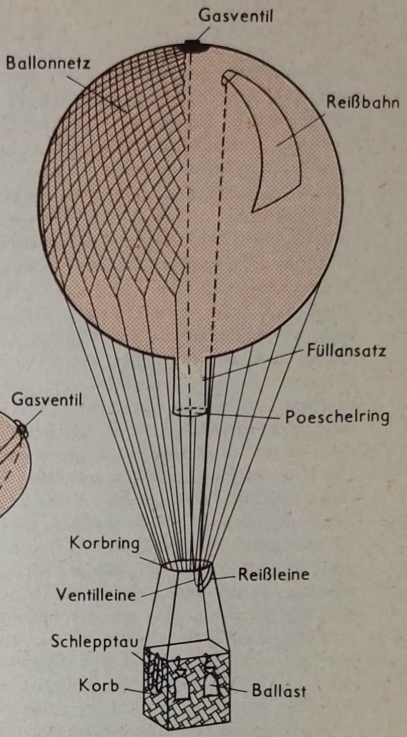


Abb. 2 Freiballon

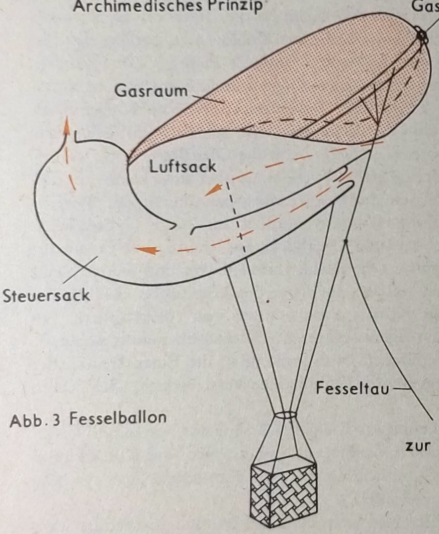


Abb. 3 Fesselballon

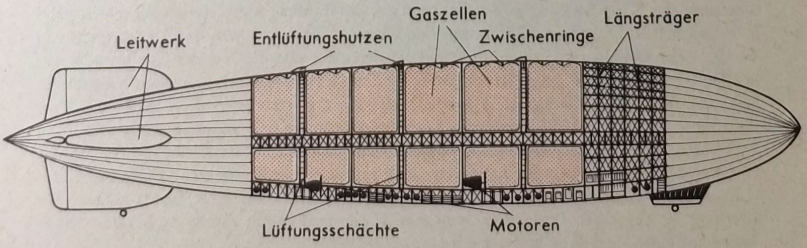


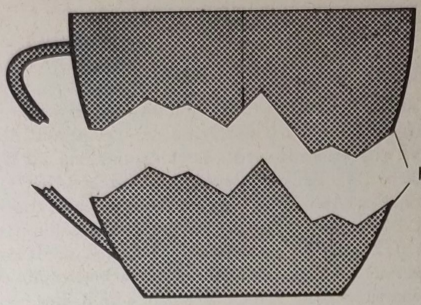
Abb. 4 Querschnitt durch ein starres Luftschiff

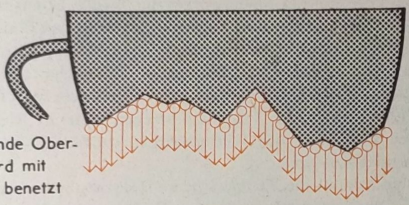
KLEBEN

Die Druckfarbe der Buchstaben des vorliegenden Textes, die Papierfasern des Druckpapiers, die einzelnen Papierschichten des Umschlagdeckels haften auf ihrer Unterlage oder aneinander. Sie wurden aneinandergeheftet, aneinandergeklebt. Würden die Papierfasern des vorliegenden Buchpapiers nicht miteinander verklebt sein, dann würde das ganze Buch zu Staub zerfallen. Nun werden zwar nicht alle Dinge oder Stoffe, die miteinander verhaftet sind, zusammengeklebt, aber das Kleben ist doch eine sehr häufige Arbeitsmethode, die zum Aufbau vieler Produkte nötig ist. Die verklebten Gegenstände haften aneinander durch zwei physikalische Kräfte: durch die Adhäsion einer Klebeschicht an der Oberfläche des einen und des anderen Teiles eines Gegenstandes oder einer mehrschichtigen Fläche (Adhäsion = Haftvermögen) und durch die Kohäsion des Klebstoffes, d. h. die mechanische Festigkeit des Klebstoffes in sich; dazu tritt bei rauheren Oberflächen die durch die Kapillaraktivität eines Leimes mitbestimmte mechanische Verankerung. Geklebt wird meist mit Hilfe eines Klebstoffes. Er ist nur dann voll seiner Aufgabe gewachsen, wenn die Adhäsion und die Kohäsion etwa so kräftig sind wie die innere Festigkeit der zu verklebenden Teile. Ist die Adhäsion zu schwach, dann bricht die Klebestelle an der Grenzfläche ab. Ist die Kohäsion zu gering, dann ist der Klebstoff in sich nicht fest genug und hinterläßt mitunter klebrige Druckflächen. Der Klebevorgang an sich ist sehr kompliziert: Zwei Gegenstände können erst miteinander verklebt werden, wenn an jede Stelle ihrer Berührungsoberfläche Klebstoff als Bindemittel gelangt. Zuerst muß also die Oberfläche der Gegenstände vom Klebemittel intensiv *benetzt* werden. Das ist gar nicht so einfach, wenn die Oberfläche z. B. wasserabstoßend wirkt, aber ein wäßriges Klebemittel verwendet werden soll. Damit die Benetzung intensiv genug stattfindet, müssen die Grenzflächenspannungen des Systems Klebstoff/Klebling, also die Hydrophilie (Wasserfreundlichkeit) und Hydrophobie („Wasserscheu"), die Polarität von Klebstoff und Oberfläche des Klebligs so beschaffen sein, daß sich der Klebstoff über die ganze Oberfläche verteilen läßt und haften bleibt (verankert). Die gleichen Bedingungen müssen auch bei der Oberfläche des zweiten Kleblings herrschen, obwohl der zweite Körper ohne weiteres von völlig anderer Beschaffenheit sein kann. Die mechanischen Eigenschaften des Klebstoffs müssen sich nach seiner Trocknung, Erstarrung oder chemischen Umwandlung an die Eigenschaften der zu verklebenden Stoffe anpassen; deswegen gibt es zahlreiche verschiedene, aber keinen einzigen Universalkleber.

Als Klebstoff werden u.a. verwendet: Leime aus Eiweißen, Leime aus Stärke und Cellulose, Leime aus Naturharzen und Wachsen, Leime aus Kunststoffen und Kunstharzen, Leime aus Pflanzensäften, Gummen (Gummiarabikum), aus Kautschuk, aus synthetischem Kautschuk und aus anorganischen Stoffen.

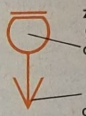
Das Verkleben unterschiedlicher Körper erfordert nicht selten eine sorgfältige Vorbereitung der Klebeflächen, wobei die Reinheit, die Rauheit oder Glätte eine wesentliche Rolle spielen. In manchen Fällen muß der Klebstoff erst trocknen, d. h., Lösemittel wie Wasser oder Benzin u. a. müssen abtrocknen können, ehe die Verklebung beendet ist. Solche Klebstoffe sind physikalisch trocknend und benötigen immer eine bestimmte Zeit, bis die Klebung fertig ist. Manche Klebstoffe erstarren erst durch chemische Umwandlung, sie „trocknen" chemisch. Sie müssen immer dort angewendet werden, wo das Austrocknen nicht möglich ist. Manche Klebungen sind sofort fertig; das ist der Fall bei den an sich weniger haltbaren, aber mit sehr dünner Schicht stark klebender Kunststoffe bestrichenen Folienverklebungen (Kunststoffolie, Klebeband). Diese Art Klebung ist deswegen brauchbar, weil eine Folie meist nicht durch Zug- oder Scherkräfte auf ihrer Unterlage belastet wird.

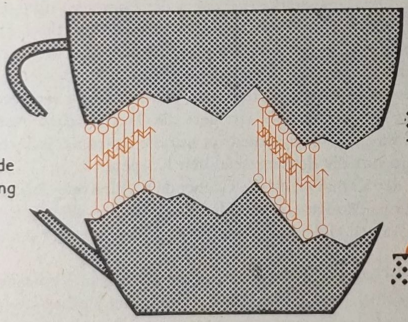




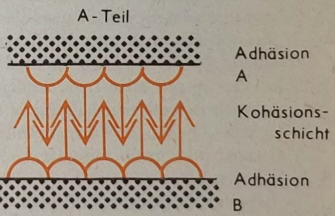
zu klebende Oberfläche wird mit Klebstoff benetzt

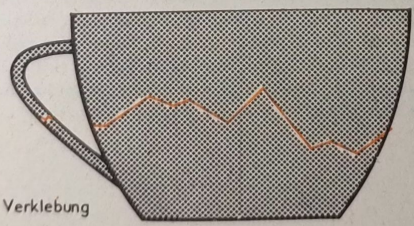
Klebstoffmolekül





beginnende Verklebung





fertige Verklebung

HEIZEN, SCHORNSTEIN

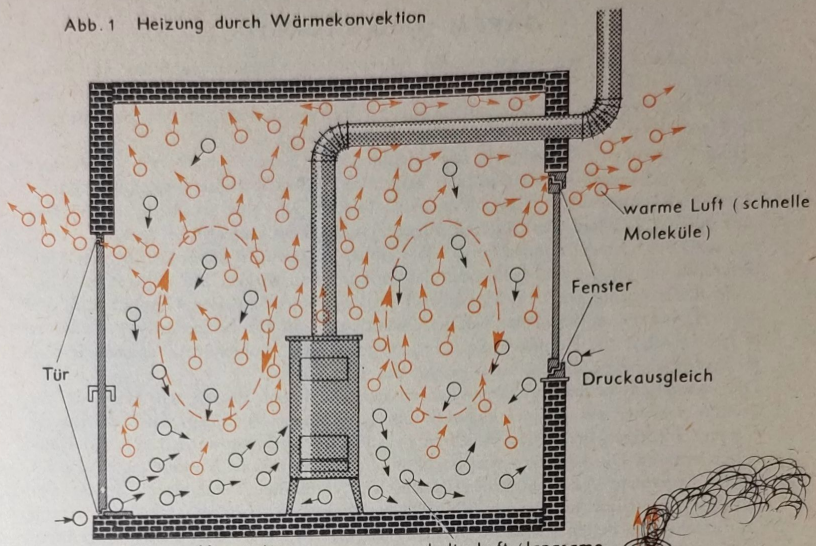
Heizen bedeutet im engeren Sinn die Steigerung der Temperatur im unmittelbaren Lebensraum des Menschen. Dies kann geschehen durch Erhöhung der Temperatur der den Menschen umgebenden Luft (Konvektionsheizung) oder durch Anstrahlung mit Wärmestrahlen (Strahlungsheizung; vgl. S. 314). Bei der Konvektionsheizung (Abb. 1) wird durch einen Ofen oder einen Heizkörper (Abb. 2) die Temperatur der an der Wärmequelle vorbeigleitenden Luft erhöht, d. h., die Bewegungsenergie der Gasmoleküle der Luft wird gesteigert (in den Abb. 1 u. 2 sind die schnellen Moleküle rot, die langsamen schwarz gezeichnet). Die Anreicherung der Luft eines Zimmers mit schnellen Molekülen durch die Heizung erhöht die Raumtemperatur. Die Gesamtenergie im Raume bleibt jedoch unverändert. Eine Erhöhung der Wärmeenergie eines konstanten Gasvolumens würde eine Steigerung seines Druckes bedingen. Ein Wohnraum ist aber nie hermetisch abgeschlossen; durch Ritzen und Spalten an Fenstern und Türen, aber auch im Gebälk der Böden und Decken oder durch die Porosität des Mauerwerkes der Wände ist ein Druckausgleich mit der Umgebung vorhanden. Die Heizung steigert daher nicht den Betrag der Wärmeenergie in einem Raum, sondern nur deren Wertigkeit, d. h. ihre Temperatur. Der Quotient Wärmeenergie: Temperatur wird erniedrigt. Man nennt diesen Quotienten die reduzierte Wärmemenge und mißt mit seiner Hilfe die *Entropie*. Diese ist ein Maß für die Wertigkeit der Wärmeenergie. Die natürlichen Vorgänge streben stets in Richtung sinkender Temperatur, geringerer Wertigkeit der Wärmeenergie, größerer Werte der reduzierten Wärmemenge, wachsender Entropie.

Um die Entropie zu erniedrigen und damit die Temperatur zu steigern, bedarf es einer Wärmequelle (z. B. eines Ofens). Die Temperatur (genauer: die Entropie) nimmt – um einen Vergleich zu gebrauchen – in der Fabrik der natürlichen Vorgänge die Stelle des Direktors ein, da sie für deren Ablauf maßgebend ist. Die Energie hingegen liefert nur die Posten für den Buchhalter, der die Bilanz zum Ausgleich bringen muß. Bei jeder Konvektionsheizung erhöht man also trotz Energiezufuhr die Wärmeenergie im geheizten Raum nicht, man erniedrigt aber deren Entropie (steigert die Temperatur). Auch die andere Art der Heizung, die Strahlungsheizung, erniedrigt nur die Entropie, jedoch nicht die der umgebenden Luft, sondern nur die des angestrahlten Körpers.

Die älteste Strahlungsheizung ist der Kamin (Abb. 3). Glühende Kohlen oder Holzscheite sind die Quelle der Wärmestrahlung. Modernere Strahlungsheizkörper sind z. B. Heizsonnen oder Infrarotstrahler, bei denen elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt wird.

Bei allen Heizungen, bei denen die Wärmequelle ihre Energie aus einem Verbrennungsvorgang bezieht (Holz-, Kohle-, Ölheizung), spielt die Ableitung der Verbrennungsprodukte durch einen *Schornstein* neben der Funktion der Beseitigung der Abgase noch eine andere entscheidende Rolle. Da erwärmte Gase (also auch erwärmte Luft) leichter als Luft normaler Temperatur sind, erfahren sie in der Luft einen Auftrieb (vgl. S. 674). Die Abgas-(Rauch-)Ableitung durch einen Schornstein erzeugt daher einen Luftzug im Feuerungs-(Verbrennungs-)Raum, der um so stärker ist, je höher der Schornstein ist, der die erwärmten Gase gebündelt zusammenhält (Abb. 4). Dieser Sog facht den Verbrennungsprozeß an. Am unteren Ende des Schornsteins befindet sich die sog. Rauchkammer, in der sich feste Partikel, die von den Abgasen mitgerissen werden und von unvollständiger Verbrennung des Heizmaterials herrühren (Ruß), ablagern können.

Abb. 1 Heizung durch Wärmekonvektion



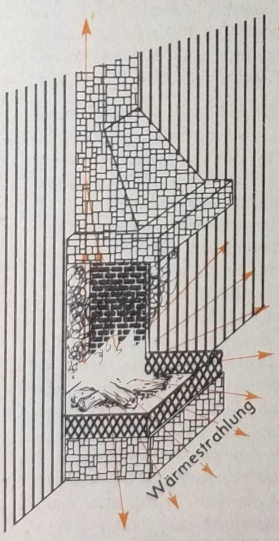


Abb. 3 Strahlungsheizung (offener Kamin)

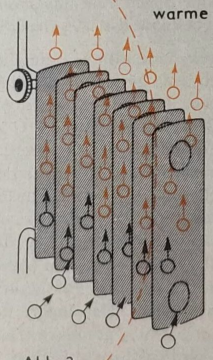


Abb. 2

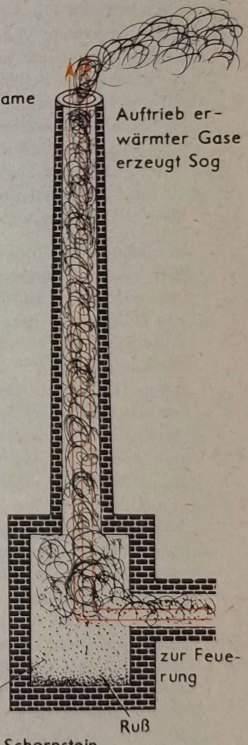
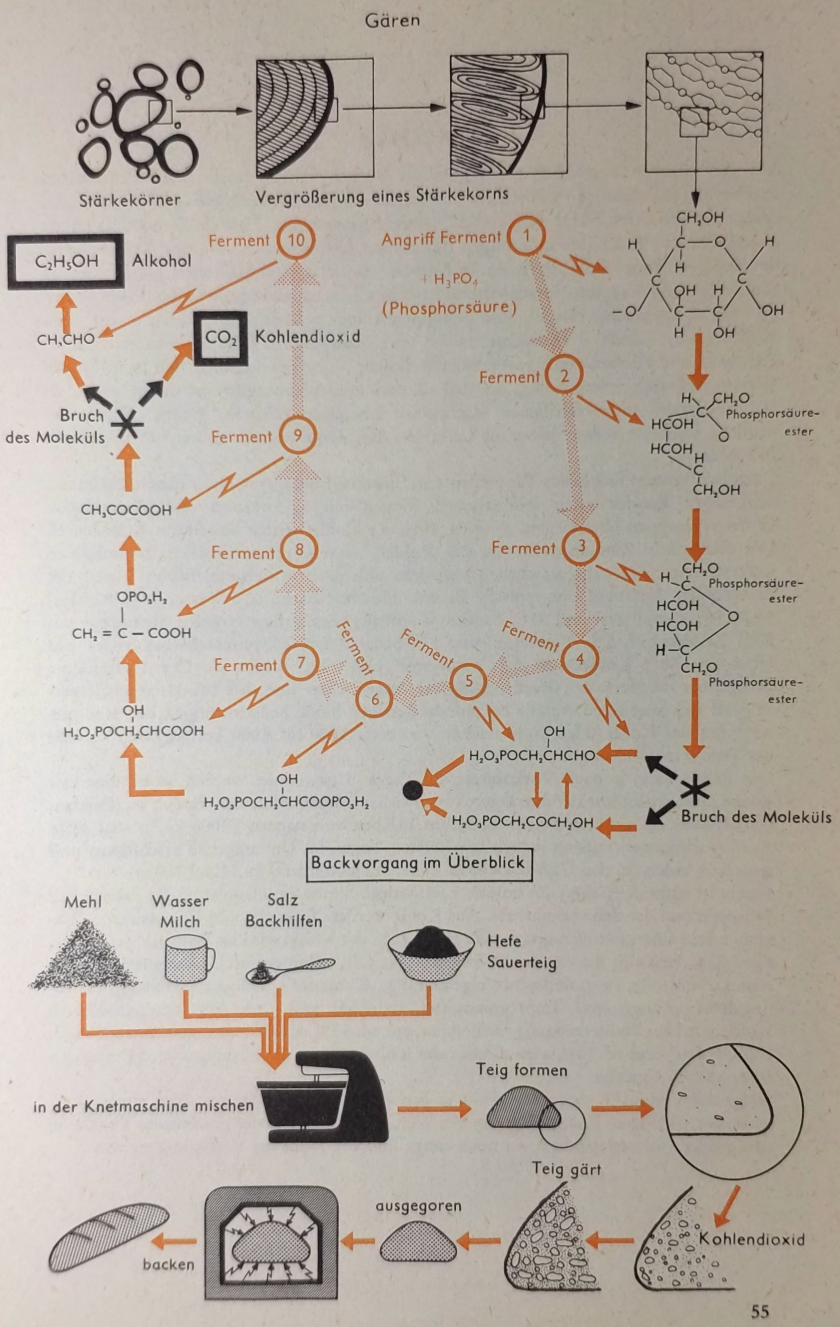


Abb. 4 Schornstein

GÄREN UND BACKEN

Zwar werden schon seit vielen tausend Jahren durch Vergären Getränke und durch Vergären und Backen Lebensmittel (Backwaren) erzeugt, aber erst seit wenigen Jahrzehnten beginnen wir, die dabei ablaufenden Vorgänge zu erkennen und zu verstehen.
Die Herstellung von Brot beginnt mit der Teigbereitung:
100 kg Weizenmehl, Roggenmehl oder Mehlgemische werden mit 60–70 l Wasser oder Milch gemischt, dazu kommen je Liter Teig etwa 20–30g Kochsalz und einige Gramm Teigauflockerungsmittel (Backpulver, ABC-Trieb u. a.). Nun werden je Liter Teig etwa 30–35g Preßhefe oder Sauerteig zugegeben, der Teig ausgearbeitet (geknetet usw.) und schließlich einige Stunden bei 30–35°C ruhen gelassen. In dieser Zeit beginnen die Hefezellen der zugesetzten Hefe oder des Sauerteigs zu wirken. Mit Hilfe ihrer Wirkstoffe, der Fermente, wird ein Teil (etwa 1–3%) der Stärke aus dem Getreidemehl vergoren. Dabei spaltet sich dieser Teil der Getreidestärke in Traubenzucker, der wiederum in Äthylalkohol und Kohlendioxid (CO_2) vergoren wird. Kohlendioxid entsteht überall im Brot in kleinsten Bläschen und lockert den Teig auf.
Die Hefezellen Saccharomyces vermehren sich bei diesem Prozeß sehr rasch, in der Stunde entstehen aus je einer Hefezelle durch Teilung zwei Zellen. Auch die für die Gärung wichtigen Fermente vermehren sich dadurch stark, sie werden von den Hefezellen erzeugt. Die Fermente sind hochkomplizierte organische Verbindungen, die aus einem Coferment (einer einfachen organischen Verbindung) und einem Apoferment (einem kompliziert aufgebauten Eiweißkörper) bestehen. Fermente können vorläufig nur in lebenden Zellen gebildet werden, sie sind sehr temperaturempfindlich und wirken nur unter ganz bestimmten Umweltbedingungen (es müssen bestimmte Salze, bestimmte Säuregrade, bestimmte Temperaturen und Konzentrationen herrschen). Manche Fermente verlieren schon bei 40°C ihre Wirkung, fast alle werden oberhalb 50°C zerstört. Man kennt heute über 700 solcher Fermente und kann über 100 rein gewinnen. Sie sind „Biokatalysatoren" und zeigen eine unglaubliche spezifische Arbeitsleistung. Manche Fermente setzen in der Sekunde das 220fache ihres Eigengewichtes an Stoffen um.

In einem Liter Brotteig sind etwa eine Billion Hefezellen tätig. Damit das Brot richtig gärt, müssen wenigstens 10 Fermente gut zusammenwirken, Stärke verzuckern, Eiweiße verwandeln und CO_2 entwickeln. Das aufgelockerte, poröse Brot wird nun gebacken. Ein Brötchen ist nach 15–20 Minuten bei 210–235°C Backhitze fertig, ein Bauernbrot von 1,5 kg Gewicht benötigt 50 Minuten zum Ausbacken; Roggenbrot wird bei 250–290°C, Weizenbrot bei 250–270°C ausgebacken. Während des Backprozesses entweicht der durch Gärung entstandene Alkohol, das Kohlendioxid und neben einer Reihe von Geruchsstoffen auch Wasser. Das fertige Brot hat dabei chemische, kolloidchemische und physikalische Veränderungen erfahren. Ein erheblicher Teil der Mehlbestandteile wandelt sich in Dextrine, Maltosen und Traubenzucker um (daher der Glanz der Brotkruste und der süßliche Geschmack). Ein Teil des Eiweißes gerinnt, das Brot wird fest, wobei es jedoch seine poröse Struktur beibehält. Das Innere des Brotes wird nicht heißer als 100°C, der Wassergehalt ist auf 37–40% gesunken. Das Wasser ist bei frischbackenem Brot an die Stärke gebunden; wird das Brot altbacken, dann bindet sich das Brotwasser mehr und mehr an die Eiweiße. Lagert man fertiges Brot bei –30°C oder erhitzt es kurz auf 60°C, dann kann dieser Prozeß wieder umgekehrt werden, das Wasser bindet sich wieder mehr an die Brotstärke, das Brot schmeckt wieder frisch. Zusätze wie Fette, Lecithine, Brotweichmacher usw. verzögern das Altbackenwerden. Durch den Backprozeß werden u. a. die Hefen abgetötet, die Fermente zerstört und auch Pilze und Sporen unschädlich gemacht. Falsch gebackenes Brot kann weitergären oder schimmeln, aber auch falsch gelagertes Brot (zu hohe Feuchtigkeit) kann schimmeln und verderben. – Zur Gärung ohne Backen vgl. S. 466.


Gären
Stärkekörner
Vergrößerung eines Stärkekorns
Angriff Ferment 1
+ H_3PO_4
(Phosphorsäure)
Ferment 2
Ferment 3
Ferment 4
Ferment 5
Ferment 6
Ferment 7
Ferment 8
Ferment 9
Ferment 10
C_2H_5OH Alkohol
CO_2 Kohlendioxid
CH_3CHO
$CH_3COCOOH$
$CH_2 = C(OPO_3H_2) - COOH$
$H_2O_3POCH_2CH(OH)COOH$
$H_2O_3POCH_2CH(OH)COOPO_3H_2$
$H_2O_3POCH_2CH(OH)CHO$
$H_2O_3POCH_2COCH_2OH$
Phosphorsäure-ester
Bruch des Moleküls
Backvorgang im Überblick
Mehl
Wasser
Milch
Salz
Backhilfen
Hefe
Sauerteig
in der Knetmaschine mischen
Teig formen
Teig gärt
Kohlendioxid
ausgegoren
backen

KOHLE

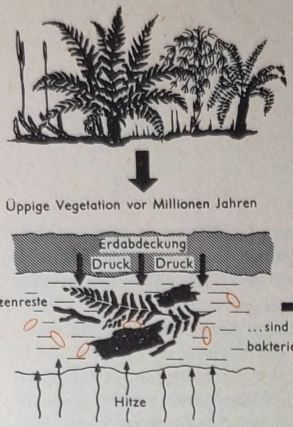
Aus den Pflanzen vorzeitlicher Sumpfwälder bildete sich im Laufe von Jahrmillionen durch einen Inkohlungsprozeß (Umwandlung durch Bakterien, Druck- und Temperaturerhöhung) die ältere Steinkohle und die jüngere Braunkohle. Fortschreitendes Absinken ganzer Gebiete und Klimaänderungen führten zur Überschwemmung und Verschüttung der üppigen Moorwälder, in denen im Karbon – vor etwa 300 Millionen Jahren – neben Sträuchern und Kräutern verschiedener Art vor allem baumartige Schachtelhalm-, Farn- und Bärlappgewächse (Siegel- und Schuppenbäume) gediehen, im Tertiär – vor etwa 30 Millionen Jahren – besonders Laub- und Nadelbäume (Mammutbäume, Sumpfzypressen und Kiefernarten) vorherrschten. Solche Vorgänge konnten sich in Millionen Jahren mehrfach wiederholen, so daß es Steinkohlenlager gibt, in denen mehr als 100 Schichten unterschiedlicher Mächtigkeit übereinanderlagern. Druck, Hitze und zeitliche Einflüsse verwandelten die Cellulose, das Lignin und die anderen Pflanzenstoffe in Kohle.

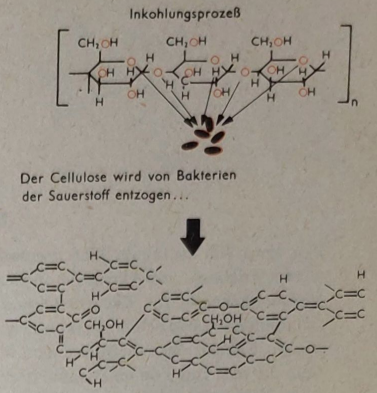
Chemisch besteht Kohle aus Tausenden von Einzelverbindungen, unter denen solche mit zahlreichen kondensierten aromatischen Ringen mit Seitenketten und phenolischen Hydroxylgruppen überwiegen. Nur rd. 10% der Kohle besteht aus freiem Kohlenstoff. Die elementare Zusammensetzung der Kohlen ist sehr unterschiedlich. Braunkohlen unterscheiden sich sehr wesentlich von den zahlreichen unterschiedlichen Sorten der Steinkohlen. Während eine typische Braunkohle ohne Asche und Wasser 74% Kohlenstoff, 5% Wasserstoff und 21% Sauerstoff enthält, besteht eine typische Steinkohle aus 90% Kohlenstoff, 5% Wasserstoff und 5% Sauerstoff. Die Muttersubstanz beider war Holz mit 50% Kohlenstoff, 6% Wasserstoff und 44% Sauerstoff. Der Inkohlungsprozeß hat demnach den Kohlenstoffgehalt angereichert und den Sauerstoffgehalt verringert. Die jeweiligen Anteile der minderwertigen Stoffe beeinträchtigen den Energiereichtum der Kohle (Heizwerte reichen von etwa 3000 bis 8000 kcal/kg) und die Art der Weiterverarbeitung.

Die Kohle kann je nach Vorkommen im Tagebau gewonnen werden, wenn eine nur dünne Gesteinsschicht darüber lagert (die meisten Braunkohlefelder werden im Tagebau erschlossen, die größten Felder bedecken Flächen von nahezu 20000 km²), sehr viele Kohlevorkommen müssen jedoch in größeren Tiefen im Untertagebau erschlossen und genutzt werden (in den USA etwa 60 m Tiefe, in Deutschland im Mittel 760 m).

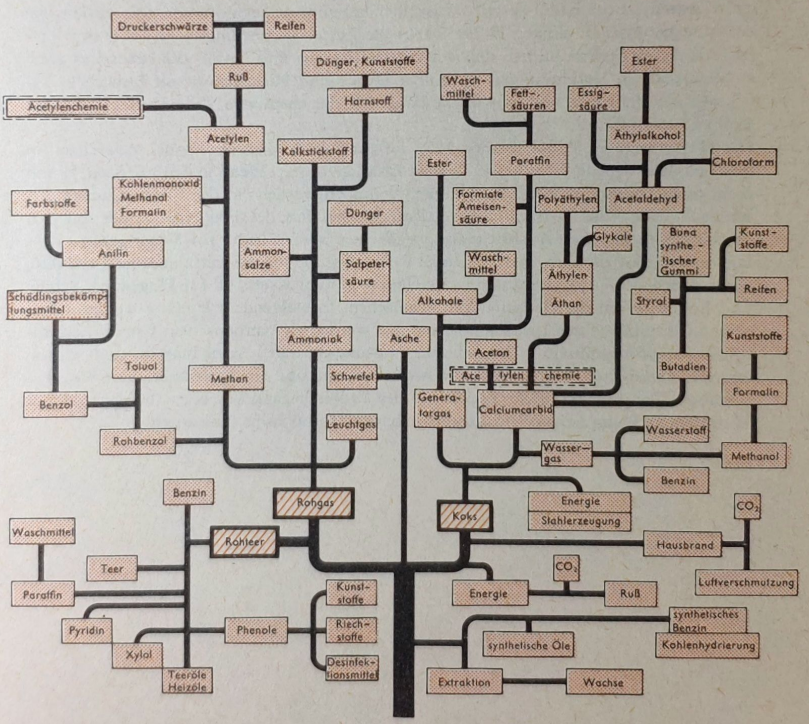
Kohle ist einer der Eckpfeiler unserer Zivilisation. Sie ist ein Hauptstoff der chemischen Industrie und der Schwerindustrie. Aus Kohle werden Tausende von Chemikalien, Rohstoffen und Energiestoffen gewonnen. Rund 25% der Kohle wird im Haushalt verbrannt, rund 25% benötigt die chemische Industrie für Öle, Schmiermittel, Lösemittel, Arzneimittel, Farbstoffe, Phenole, Schwefelgewinnung, Kunststoffe, Düngerherstellung, Schädlingsbekämpfungsmittel, Imprägniermittel, Baustoffe usw.; rd. 20% der geförderten Kohle wird zur Stahlerzeugung verbraucht, aus rd. 16% wird Energie gewonnen (Strom, Dampf, Gas) und rd. 10% wird direkt oder indirekt (über die Stromerzeugung) von den Eisenbahnen benötigt.

Steigt der Verbrauch weiter so an wie in den vergangenen 50 Jahren, dann wird Kohle, heute der wichtigste Energielieferant der Welt, nach Maßgabe der geschätzten Vorräte in den großen Industrieländern nur noch einige hundert Jahre zur Verfügung stehen.





Verwendungsbereiche der Kohle

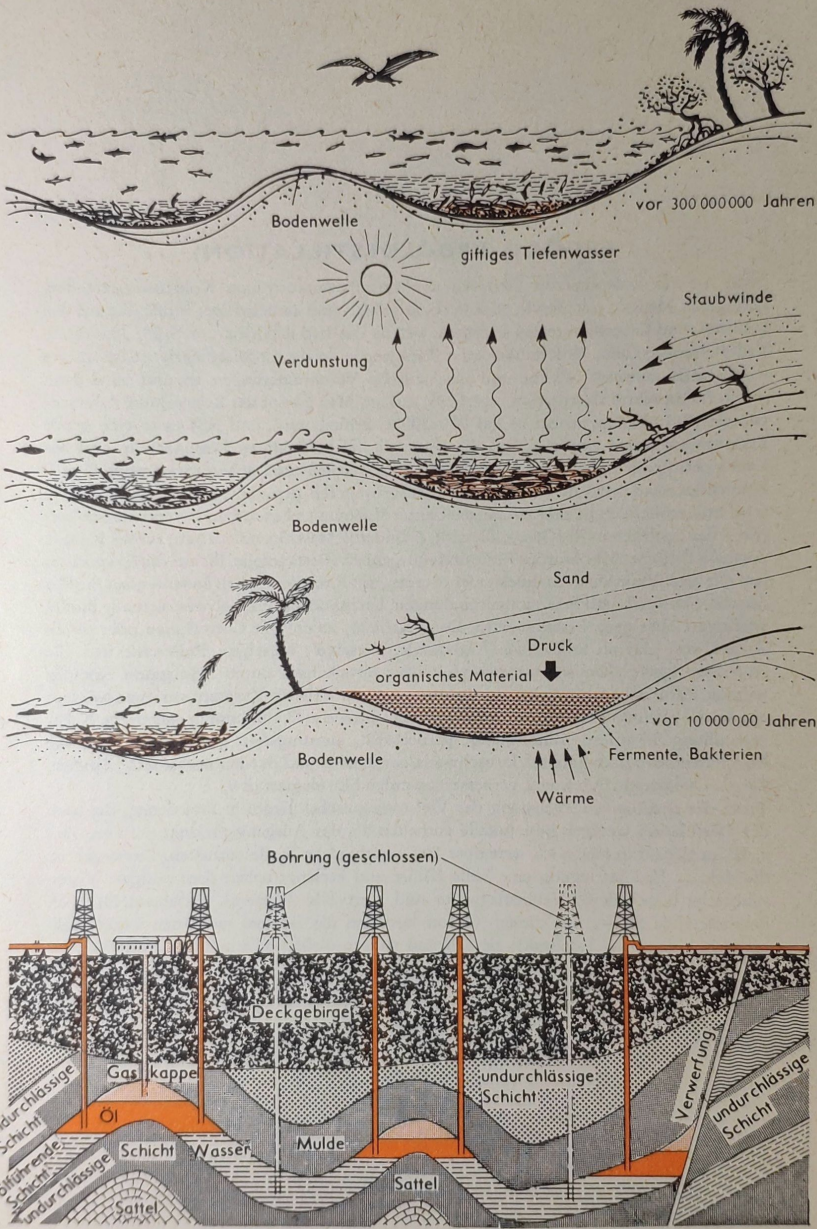


ERDÖL I

Vor etwa 300 Millionen Jahren entstanden in küstennahen Gewässern durch Kleinlebewesen, Pflanzen und Algen, die in riesigen Mengen in flachen Gewässern abstarben, die Voraussetzungen für die Entstehung von Erdöl. Die aus den Tier- und Pflanzenresten sich bildenden Faulschlämme konnten infolge Sauerstoffmangels nicht verwesen und verrotten. Klimatische Veränderungen führten dazu, daß einige dieser Gewässer verlandeten; die nun von Ton und Sandmassen bedeckten Reste von Pflanzen und Tieren waren über Millionen Jahre einem sich steigernden Druck und der Erdhitze ausgesetzt. Das Fett, die Kohlenhydrate und Eiweißstoffe der Tier- und Pflanzenreste wurden dadurch Bedingungen unterworfen, unter denen sie weitgehend chemisch umgewandelt wurden. Unter Kohlensäureabspaltung entstand eine große Reihe chemischer Verbindungen (Alkane, aromatische Verbindungen, Schwefelverbindungen usw.), die die Zusammensetzung des Erdöls ausmachen. Da die örtlichen Bedingungen der Zersetzung nicht gleich waren, ist das Erdöl der unterschiedlichen Fundorte auch oftmals sehr verschieden zusammengesetzt. In einigen Fällen waren die Zersetzungsbedingungen besonders heftig. An diesen Stellen bildete sich vorwiegend Erdgas und Erdöl, das besonders reich an aromatischen Verbindungen ist. Außer Druck und Hitze haben mit Sicherheit Katalysatoren, Fermente und vor allem Bakterien die chemische Zusammensetzung der Rohöle beeinflußt.

Die Weltvorräte an Erdöl wurden 1959 auf rund 40 Milliarden Tonnen geschätzt. Im gleichen Jahr wurde 1 Milliarde Tonnen Erdöl gefördert. Wenn in den nächsten Jahren nicht noch besonders reiche Vorkommen gefunden werden (in den Wüsten, unter den Meeren), dann wird in etwa einem halben Jahrhundert der Erdölvorrat, der mit den derzeitigen technischen Ausrüstungen ausgebeutet werden kann, zur Neige gehen.

Heute ist Erdöl ein ganz entscheidender Rohstoff für Hunderte verschiedener Produkte, unter denen der Vergaserkraftstoff, das Heizöl und der Kraftstoff für Flugzeuge, Schiffe und Lokomotiven die Hauptmengen ausmachen. In steigendem Umfang werden organische Chemikalien aus Erdöl gewonnen; sie werden zu synthetischem Gummi, Schädlingsbekämpfungsmitteln, Chemiefasern, Lösungsmitteln, Arzneimitteln und vielem anderen verarbeitet. Tausende von Wissenschaftlern sind mit Problemen des Erdöls beschäftigt. Die großtechnische Förderung des Erdöls begann vor etwa 100 Jahren; ihre Weiterentwicklung ist für die Energiewirtschaft von höchster Bedeutung.

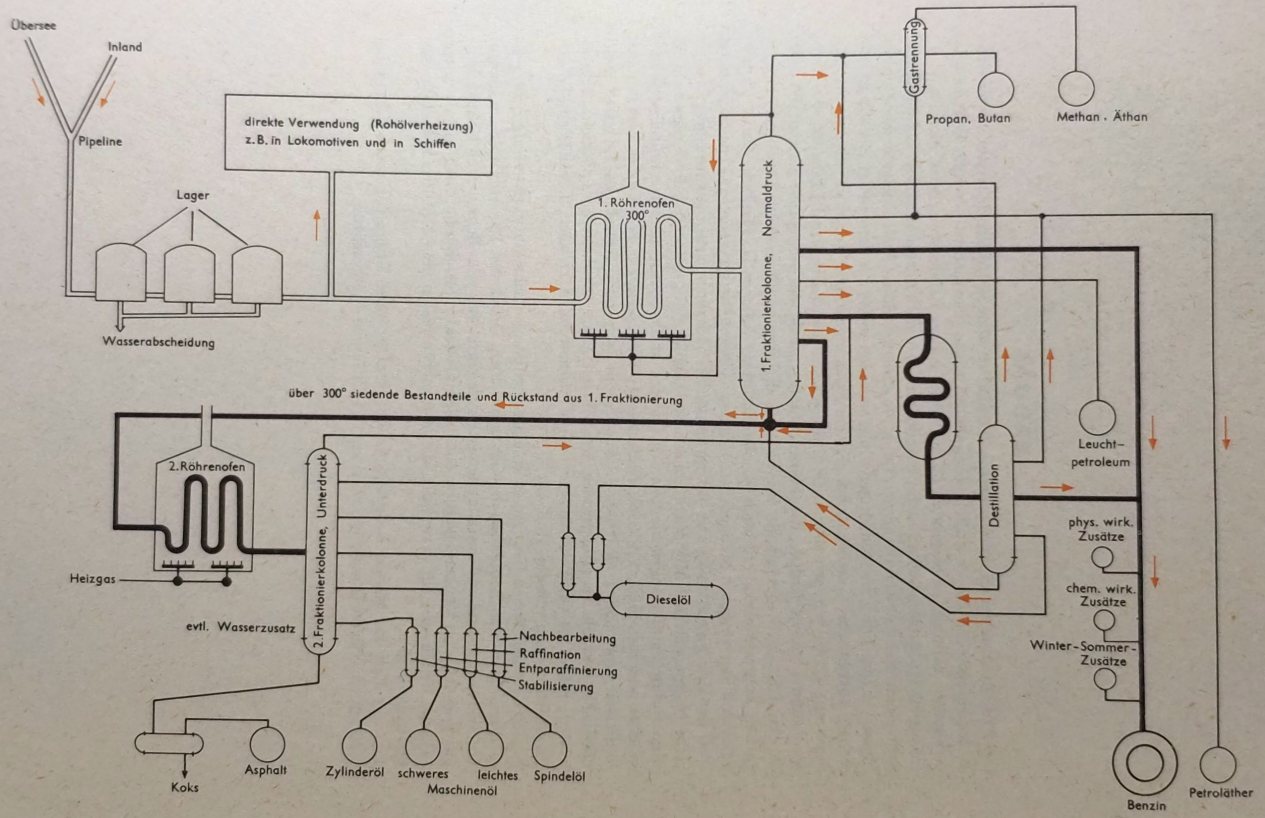


Erdöllagerstätten schematisch

ERDÖL II (ERDÖLDESTILLATION)

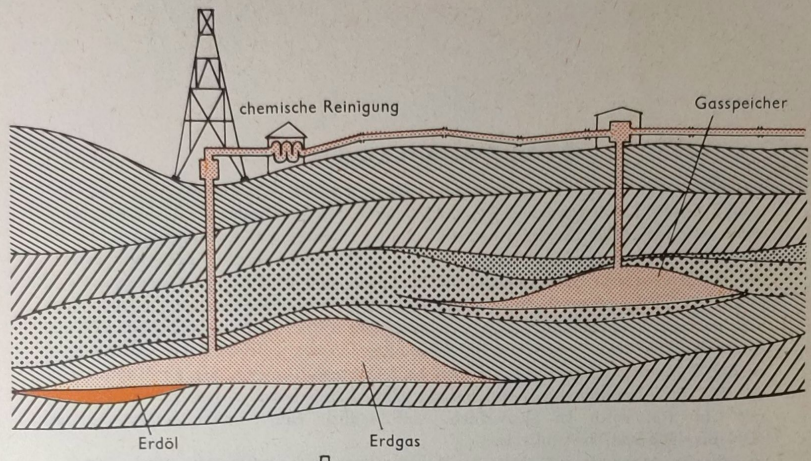
Erdöl ist ein kompliziertes Gemisch aus verschiedenflüchtigen Kohlenwasserstoffen, geringeren Mengen sauerstoff-, stickstoff-, schwefel- und aschehaltiger Stoffe, die aus den Pflanzen- und Lebewesenresten stammen, welche das Erdöl bildeten (s. S. 58). Das durch Erdölleitungen, über Erdöltanker oder Tankwagen an die Erdölraffinerie transportierte Rohöl setzt zunächst Wasser und mechanische Verunreinigungen ab und wird dann durch fraktionierte Destillation (vgl. S. 26) zerlegt. Man pumpt das Rohöl durch flammenbeheizte Röhrenöfen, wobei es auf 280–300 °C erhitzt wird, und läßt es in eine große Fraktionierkolonne eintreten, wo die Gase, die leichtflüchtigen Benzinanteile und das Leuchtpetroleum abdestilliert werden. Der noch verbleibende, schon dickflüssige Destillationsrückstand wird durch einen zweiten Röhrenofen gepumpt, wo er wieder erhitzt wird und schließlich in eine zweite, jetzt unter Vakuum stehende Fraktionierkolonne eintritt. Hier destillieren Öle (Gasöl, Dieselöl, Zylinderöl, Maschinenöl u.a.) ab; zurück bleiben Asphalt, Erdölpech, koksartige Reste und anorganische Bestandteile. Bis auf das Gas müssen fast alle Erdölfraktionen nachbehandelt werden, wodurch der Gehalt an störenden Stoffen (Asche, Schwefel- und Stickstoffverbindungen, harzbildende und polymerisierende Stoffe) verringert oder ganz beseitigt wird. Das geschieht, indem mit Chemikalien oder durch Zusatz von aktiven Stoffen wie Aktivkohle, Kieselgel, Kieselgur, Fullererde usw. die störenden Stoffe chemisch umgewandelt oder physikalisch durch Adsorption beseitigt werden. Zahlreiche Erdölfraktionen müssen noch mit weiteren Zusätzen versehen werden, ehe sie die erwünschten Eigenschaften erhalten. Benzin z. B. muß durch chemische Nachbehandlung klopffest, zündfreudig, geruchsarm, alterungsfest gemacht werden, die Maschinenöle müssen harzfrei, farbschwach, geruchsfrei und oxydationsfest sein; Zusätze, die die Öleigenschaften weiter verbessern, werden hinzulegiert usw.

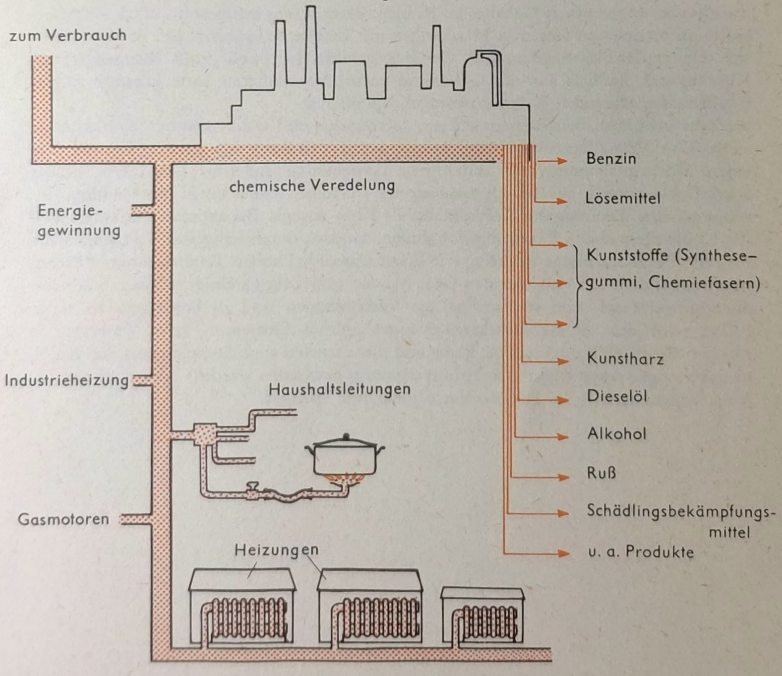
Trotz der destillativen Zerlegung des Vielstoffgemisches Erdöl in Fraktionen, die nach der Destillation weniger Bestandteile enthalten als das Ausgangsprodukt aufwies, sind z. B. im Benzin immer noch weit über 100 verschiedene Stoffe enthalten. Deswegen ist die richtige Erdölzerlegung eine hohe Kunst und verlangt neben dem nötigen Wissen zahlreiche komplizierte Meßinstrumente und wertvolle Apparate. Erdöl enthält z. B. korrodierende Stoffe. Aus diesem Grund bestehen die riesigen modernen Erdöldestillationskolonnen aus Edelstahl; sie arbeiten nahezu vollautomatisch.


Übersee
Inland
Pipeline
Lager
Wasserabscheidung
direkte Verwendung (Rohölverheizung)
z.B. in Lokomotiven und in Schiffen
1. Röhrenofen
300°
1. Fraktionierkolonne, Normaldruck
Gastrennung
Propan, Butan
Methan . Äthan
über 300° siedende Bestandteile und Rückstand aus 1. Fraktionierung
2. Röhrenofen
Heizgas
2. Fraktionierkolonne, Unterdruck
evtl. Wasserzusatz
Dieselöl
Nachbearbeitung
Raffination
Entparaffinierung
Stabilisierung
Destillation
Leucht-
petroleum
phys. wirk.
Zusätze
chem. wirk.
Zusätze
Winter-Sommer-
Zusätze
Koks
Asphalt
Zylinderöl
schweres
Maschinenöl
leichtes
Spindelöl
Benzin
Petroläther

ERDGAS

Der Erde entströmen an den Erdgasquellen jährlich über 500 Milliarden Kubikmeter Gase, in der Hauptsache das eigentliche brennbare Erdgas (das man früher auch Faulgas oder Grubengas nannte); es besteht zu 80 bis 95% aus dem Kohlenwasserstoff Methan.
Einige Erdgasquellen liefern auch unbrennbare oder stark giftige Gase wie Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff u. a., in seltenen Fällen auch Edelgase wie Helium, Neon, Argon. Die schwefelhaltigen Gase stammen meist aus dem tiefen Erdinnern und stellen vulkanische Gasaushauchungen dar. Das eigentliche brennbare Erdgas kommt meist an Stellen vor, wo man auch Erdöl fördern kann. Manche Erdgasquellen liefern sogenanntes nasses Erdgas, das Benzindämpfe enthält, die ausgenützt werden können; in den USA z. B. decken sie bis zu 10% des Benzinverbrauches. Trockenes Erdgas enthält neben Methan oft noch Kohlenmonoxid, Wasserstoff, Helium, Neon, Argon, Stickstoff in geringeren Mengen. Die Erdgasgewinnung liefert einen ganz entscheidenden Teil der Energierohstoffe: Die Jahresproduktion an Erdgas entspricht im Energiegehalt einer Menge von 350 Millionen Tonnen Steinkohle. Ein großer Teil des Erdgases wird über riesige Fernleitungsnetze von den Quellen in die Industriezentren und Großstädte geleitet und zum Heizen oder als Haushaltsgas verwendet, ein Teil wird in Gasmotoren verbrannt und liefert elektrische Energie, ein steigender Anteil des Erdgases wird chemisch veredelt zu Kunststoffen wie Chemiefasern, synthetischem Gummi, Kunstharzen, ferner zu Chemikalien wie Frostschutzmitteln, Alkoholen, Lösemitteln, Schädlingsbekämpfungsmitteln, Ruß usw.
Neben den natürlichen Erdgasquellen entstehen immer mehr künstlich erbohrte Erdgasquellen, die in manchen Fällen das Gas unter einem Druck von 150 Atmosphären liefern. Um das gewonnene und notfalls chemisch gereinigte oder vom Benzinanteil befreite Erdgas speichern zu können, werden ehemalige Gasfelder (erschöpfte Quellen) als unterirdische Erdgasspeicher verwendet, die in manchen Fällen über 1 Milliarde Kubikmeter fassen können.
Die zur Zeit mächtigste Erdgasquelle mit dem größten Erdgasvorkommen liegt bei Groningen (Niederlande); sie wird auf 1,1 Billionen m^3 geschätzt.


chemische Reinigung
Gasspeicher
Erdöl
Erdgas

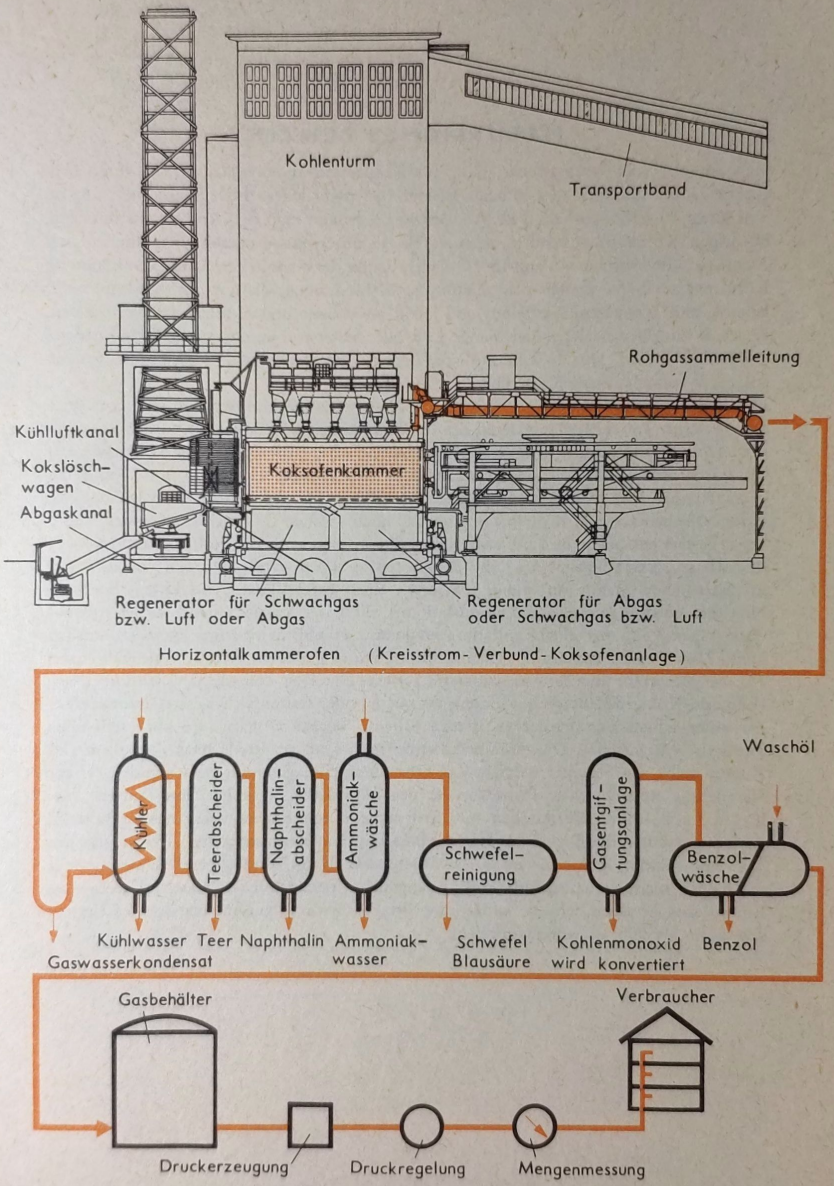

zum Verbrauch
chemische Veredelung
Energie-
gewinnung
Industrieheizung
Gasmotoren
Haushaltsleitungen
Heizungen
Benzin
Lösemittel
Kunststoffe (Synthese–
gummi, Chemiefasern)
Kunstharz
Dieselöl
Alkohol
Ruß
Schädlingsbekämpfungs-
mittel
u. a. Produkte

STADTGAS (LEUCHTGAS)

Stadtgas ist ein brennbares und giftiges Gemisch aus 50% Wasserstoff, 20 bis 30% Methan, 7 bis 17% Kohlenmonoxid, 3% Kohlendioxid, 8% Stickstoff und 2% Kohlenwasserstoffen. Ferner enthält Stadtgas noch Ammoniak, Schwefel, Blausäure, Benzol und andere Stoffe. Schwefel ist – teilweise in Form stark riechender chemischer Verbindungen – der charakteristische Geruchsträger des Stadtgases und wird für die Geruchswarnung in einigen Fällen dem Stadtgas sogar zugesetzt. Entgiftetes Stadtgas enthält wenig oder gar kein Kohlenmonoxid. Es wird unter einem Überdruck von mindestens 80 mm Wassersäule an den Verbraucher in Rohrleitungen weitergeleitet. Seine Qualität wird an der Wärmemenge gemessen, die pro Nm^3 (Normkubikmeter, d. i. 1 m^3, sofern sich das Gas im physikalischen Normzustand [0° C, 1 atm] befindet) bei der Verbrennung mit Luft frei wird. In Deutschland soll Stadtgas eine Verbrennungswärme von 4000 bis 4300 kcal/Nm^3 aufweisen.

Stadtgas ist wegen seines Gehaltes an Kohlenmonoxid sehr giftig und wegen seines Gehaltes an brennbaren Gasen in Mischungen mit Luft stark explosiv. Ein Raum, in dem sich ein explosibles Stadtgas-Luft-Gemisch gebildet hat, weil große Mengen (einige Kubikmeter) Stadtgas aus der Gasleitung entströmen konnten, kann allein durch die Funken einer läutenden Wohnungsklingel explodieren.

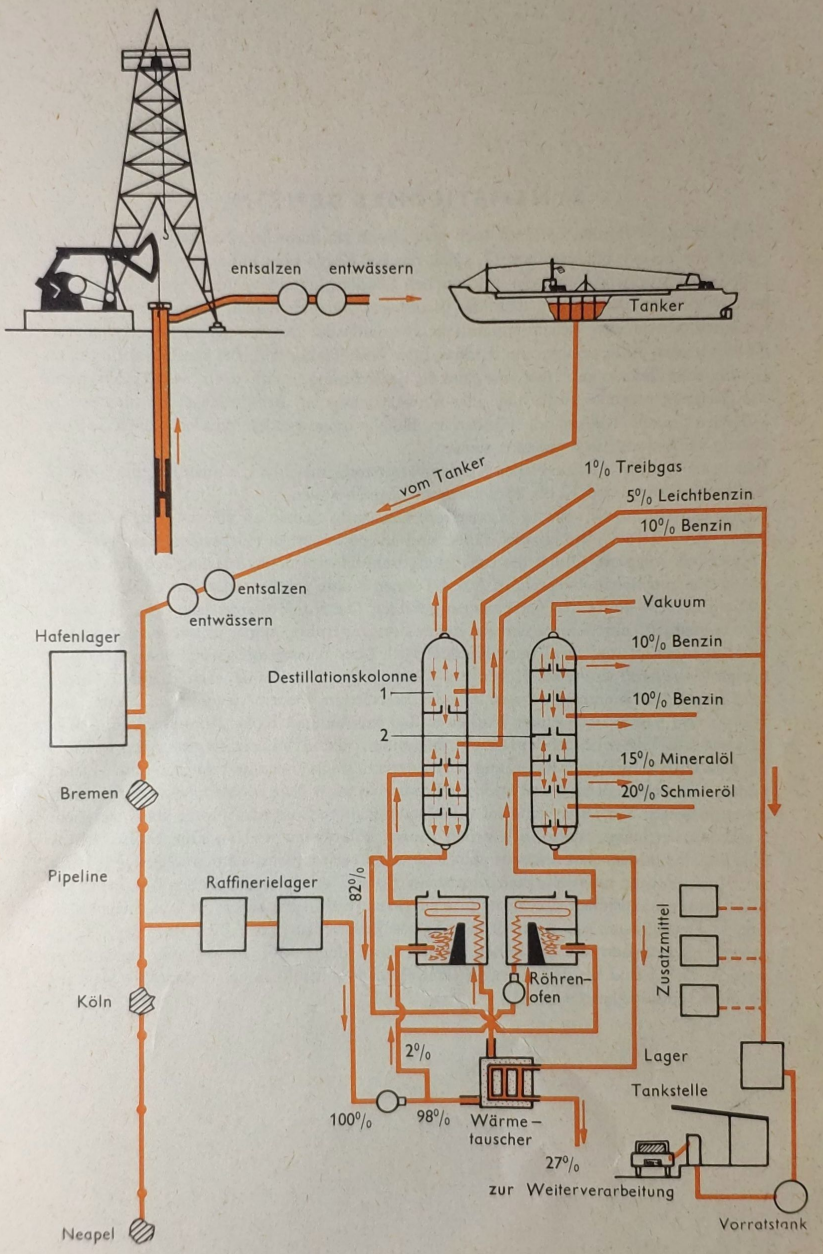
Stadtgas gehört zu den Brenngasen bzw. Starkgasen und wird meist aus Kohle hergestellt. Eine Herstellungsmöglichkeit beruht darauf, daß Rohkohle unter Luftabschluß in einem Horizontalkammerofen durch eine Gasfeuerung auf 1000 bis 1200° C erhitzt wird. Dabei können aus 100 kg aschenarmer, trockener Kohle bis 30 Nm^3 Stadtgas erzeugt werden. Die entgaste Kohle bleibt als Koks zurück. Bei anderen Verfahren wird die Kohle nicht durch Erhitzung von außen, sondern durch teilweises Verbrennen mit Sauerstoff und chemische Reaktion mit Wasserdampf bei hohen Temperaturen in Brenngase verwandelt. Die entstehenden Gase müssen sorgfältig gereinigt werden, besonders flüchtige schwefel- und stickstoffhaltige Verbindungen sind zu beseitigen. In vielen Fällen wird dem Steinkohlendestillationsgas solches Generator- oder Wassergas in Mengen bis zu 40% zugemischt. Mehr und mehr spielen auch Starkgase aus den Erdölverarbeitungswerken (die durch Erdölvergasung gewonnen werden) oder direkt brennbares Erdgas eine Rolle bei der Versorgung mit Stadtgas.


Kohlenturm
Transportband
Rohgassammelleitung
Kühlluftkanal
Kokslösch-
wagen
Abgaskanal
Koksofenkammer
Regenerator für Schwachgas
bzw. Luft oder Abgas
Regenerator für Abgas
oder Schwachgas bzw. Luft
Horizontalkammerofen (Kreisstrom-Verbund-Koksofenanlage)
Waschöl
Kühler
Teerabscheider
Naphthalin-
abscheider
Ammoniak-
wäsche
Schwefel-
reinigung
Gasentgift-
ungsanlage
Benzol-
wäsche
Kühlwasser
Gaswasserkondensat
Teer
Naphthalin
Ammoniak-
wasser
Schwefel
Blausäure
Kohlenmonoxid
wird konvertiert
Benzol
Gasbehälter
Verbraucher
Druckerzeugung
Druckregelung
Mengenmessung

NATÜRLICHES BENZIN

Man unterscheidet synthetisches, d. h. aus Kohle und anderen Rohstoffen durch chemische Umwandlungen gewonnenes Benzin von natürlichem Benzin, das zum großen Teil fertig im Erdöl enthalten ist. Als Benzin bezeichnet man ein Gemisch aus flüssigen, flüchtigen Kohlenwasserstoffen, genauer ein Gemisch aus Alkanen, Naphthenen und Aromaten, die zwischen 40 und 180°C sieden. Unter der chemischen Sammelbezeichnung Kohlenwasserstoffe versteht man chemische Verbindungen, die nur die Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten und leicht zu Wasser und Kohlensäure verbrennen, wenn sie mit der ausreichenden Menge Luft oder Sauerstoff vermengt und anschließend entzündet werden. Die Gewinnung von Benzin, das als Kraftstoff verwendet werden soll, geht folgendermaßen vor sich:

Das Erdöl wird aus seiner Quelle über Pipelines in Hafenlager gepumpt und dort grob vorgereinigt. Tanker transportieren das Rohöl zu anderen Hafenlagern, von wo es z. B. über große Pipelines durch ganze Länder gepumpt wird. Über Zwischenlager gelangt das Öl zur Verarbeitung. Es wird zunächst über Wärmetauscher erhitzt, in Röhrenöfen gedrückt und dort in Spezialstahlrohren im direkten Durchlauf von einer Ölfeuerung, deren Öl ebenfalls aus dem Rohöl stammt, hoch erhitzt. Das mehrere hundert Grad heiße Rohöl entspannt in die Destillationskolonne, wo es in die Anteile Treibgas (1% der Menge), Leichtbenzin (5%) und Benzin (10%) zerlegt wird. Der Rest von 82% der ursprünglichen Menge durchläuft wiederum einen Röhrenofen, wird erneut hoch erhitzt und gelangt in eine Destillationskolonne, die unter Vakuum steht, da bei Anwendung eines Vakuums die Destillationstemperatur erheblich niedriger gehalten werden kann. Hier werden weitere 20% der ursprünglich eingesetzten Rohölmenge in Benzin, 15% in Mineralöl und 20% in Schmieröl zerlegt. Der Rest von rd. 27% wird als Teer, Pech und Koks zur Energiegewinnung verwendet oder weiteren Prozessen unterworfen, die unter Umständen wieder zu Benzin führen. Solches Benzin wird aber schon als synthetisch bezeichnet. Die einzelnen Benzinfraktionen werden je nach Jahreszeit (im Winter mehr, im Sommer weniger Leichtbenzinanteile) gemischt und veredelt. Unter Veredelung versteht man Prozesse, die das motorische Verhalten des Benzins verbessern, z. B. durch Vermischen mit Aromaten, durch Zusatz von Antiklopfmitteln, Alterungsschutzmitteln usw. Im Endergebnis muß ein Vergaserkraftstoff vorliegen, der u. a. eine Mindestoktanzahl von 80 bis 90 aufweist, leicht zündet, bei Raumtemperatur nicht gast, nicht verharzt, nicht stark unangenehm riecht und rückstandfrei verbrennt. Ein solches Stoffgemisch ist außerordentlich kompliziert zusammenesetzt, es besteht aus mehr als 200 Einzelbestandteilen.

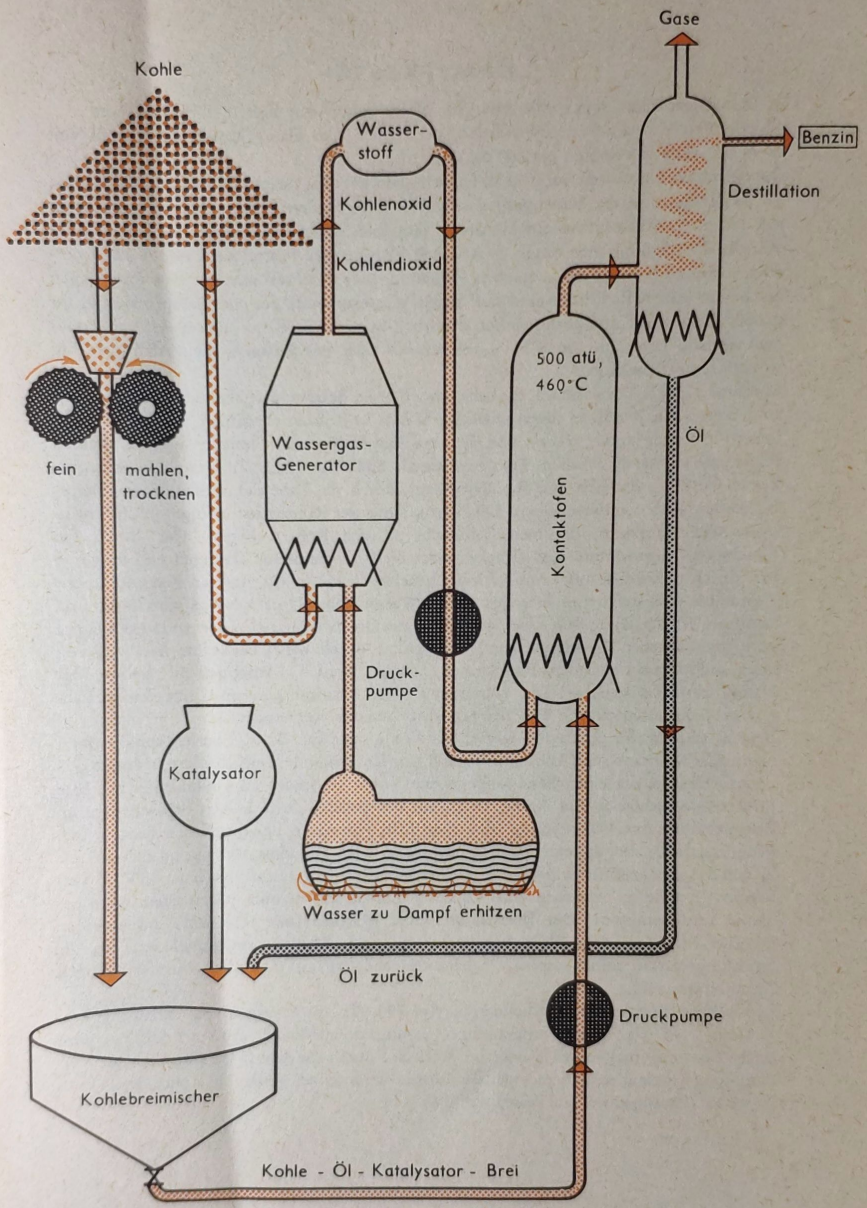

entsalzen
entwässern
Tanker
vom Tanker
1% Treibgas
5% Leichtbenzin
10% Benzin
entsalzen
entwässern
Vakuum
10% Benzin
Hafenlager
Destillationskolonne
1
2
10% Benzin
15% Mineralöl
20% Schmieröl
Bremen
Pipeline
Raffinerielager
82%
Zusatzmittel
Röhren-
ofen
Köln
2%
Lager
Tankstelle
100%
98%
Wärme-
tauscher
27%
zur Weiterverarbeitung
Vorratstank
Neapel

SYNTHETISCHES BENZIN

Während in erdölarmen Ländern auch heute noch ein beträchtlicher Teil des Kraftstoffs Benzin synthetisch hergestellt wird, spielt das aus Kohle oder kohlenstoffhaltigen Gasen künstlich gewonnene Benzin in erdölreichen Ländern keine besondere Rolle. Aber auch hier wird dem natürlichen, d. h. aus Erdöl gewonnenen Benzin wenigstens zum Teil künstlich gewonnenes Benzin zugemischt. Synthetisches Benzin stammt (wenn nicht aus Kohle) letzten Endes immer aus Erdgas oder Erdölfraktionen. Bei aus Erdölfraktionen gewonnenem Benzin kann man nur dann die Bezeichnung „synthetisch" verwenden, wenn das Ausgangsprodukt gasförmig oder schwerflüchtig ist. Rohölrückstände und andere kohlenstoffreiche Rückstände können in Benzin umgewandelt werden. Auch solches Benzin kann synthetisch genannt werden.

Benzin ist ein sehr energiereiches Kohlenwasserstoffgemisch aus Molekülen, die 5 bis 12 Kohlenstoffatome und 12 bis 26 Wasserstoffatome besitzen.

Kohle enthält nur sehr wenig Wasserstoff. Um sie in Benzin zu verwandeln, muß man daher unter Druck und großer Hitze und in Anwesenheit wirksamer Katalysatoren Wasserstoff anlagern. Durch die sog. katalytische Hochdruckhydrierung wurden früher große Mengen Benzin hergestellt. Aus 4 Tonnen Kohle wurden dabei unter Drücken bis 700 atü bei 410–460° C 1 Tonne Benzin gebildet. Die Kohle wurde nach dem Trocknen fein zermahlen, mit Schwerölen zu einem Brei angerührt; schwefelfeste Katalysatoren wurden zugefügt und pro Tonne Kohle 2 Mill. Liter Wasserstoff aufgedrückt. Der dazu nötige Wasserstoff wurde aus Kohle und Wasser hergestellt. Das dabei anfallende Kohlenoxid wurde als Brenngas verwendet oder konvertiert. Benzin gewinnt man auch aus Wasser und Kohle nach einem Verfahren, bei welchem aus Koks, Rohbraunkohle oder Briketts und Wasser bei großer Hitze Kohlenmonoxid und Wasserstoff gewonnen werden, die man nach sorgfältiger Reinigung bei niederem Druck über Katalysatoren leitet. Dabei bilden sich neben Benzin und anderen Produkten auch feste Kohlenwasserstoffe. Nach einem jüngeren Verfahren kann man kohlenoxidhaltige Gase mit Wasser über geeignete Katalysatoren leiten, wobei sich neben Säuren, Alkoholen und anderen Stoffen ebenfalls Benzine bilden. Aus ungesättigten Kohlenwasserstoffgasen werden wieder mit Hilfe von Katalysatoren wertvolle Benzine erzeugt. Da aber solche synthetischen Benzine in der Regel teurer herzustellen sind als natürliches Benzin aus Erdöl, haben die künstlichen Benzine in Deutschland nur noch Bedeutung als Zusätze zu natürlichen Benzinen, damit deren Eigenschaften auf die hohen Erfordernisse der modernen Motoren abgestimmt werden. Dabei sind besonders synthetische Benzine mit sehr hoher Oktanzahl (Maßzahl für die Klopffestigkeit) wertvoll.


Gase
Kohle
Wasser-
stoff
Benzin
Destillation
Kohlenoxid
Kohlendioxid
500 atü,
460°C
Wassergas-
Generator
Öl
fein
mahlen,
trocknen
Kontaktofen
Druck-
pumpe
Katalysator
Wasser zu Dampf erhitzen
Öl zurück
Druckpumpe
Kohlebreimischer
Kohle - Öl - Katalysator - Brei

DAMPFKESSEL

In Industrieanlagen, wo große Mengen Wasserdampf mit hohem Druck für die verschiedensten Zwecke benötigt werden, verwendet man Dampfkessel, die Dampf von 12–40 atü (in Kraftwerken bis 160 atü) liefern.

Die einzelnen Bauweisen unterscheiden sich grundsätzlich durch die Art, wie die Wärme der Feuerung und der Rauchgase das Wasser zum Sieden bringt. Bei der einfachsten Art (Abb. 1, Wasserkessel im Haushalt) läßt man einen mit Wasser gefüllten Kessel von der Heizflamme von unten oder durch Flammrohre bestreichen. Der Vorteil derartiger Kessel liegt in der einfachen Bedienung, als Nachteil machen sich ihre wegen der beschränkten Rostfläche und des trägen Wasserumlaufs geringe Dampfleistung, ihr großer Platzbedarf und geringer Betriebsdruck bemerkbar. Kessel dieser Art verwendet man deshalb heute nur noch bei Lokomotiven oder bei Anlagen, die verhältnismäßig wenig Dampf benötigen.

Moderne Hochleistungskessel, die sehr schnell hohe Belastungsspitzen erreichen müssen, sind Wasserrohrkessel. In ihnen wird das Wasser in Rohren verdampft, die durch einen beheizten Raum laufen, wo sie von der Strahlungswärme der Flammen und den heißen Rauchgasen umspült werden. Man baut sie als Steilrohr- (Abb. 2) oder als Schrägrohrkessel (Abb. 3), die sich, wie ihr Name sagt, durch die Lage der wasser- bzw. dampfführenden Rohre unterscheiden. Die Verbindung der Rohrenden erfolgt durch Trommeln oder Kammern, die meist senkrecht zu den Rohren liegen. Das durch die Rauchgase vorgewärmte Kesselspeisewasser fließt in die obere Trommel und fällt von hier durch unbeheizte oder nur schwach beheizte Rohre in die unteren Kammern oder Trommeln und steigt von hier aus in die Wasserrohre. Dort wird es verdampft und steigt als Wasser-Dampf-Gemisch zurück in die obere Trommel. Hier wird der Dampf vom mitgerissenen Wasser getrennt und strömt durch die Überhitzerrohre, die von noch ausreichend warmen Rauchgasen beheizt werden. Anschließend strömt der Dampf zum Verbraucher. Das abgetrennte Wasser strömt zusammen mit dem Frischwasser nach unten zurück und der Kreislauf beginnt von neuem.

Beheizt werden die genannten Kessel mit Kohle oder Öl. Bei Kohlenfeuerung benutzt man meist Wanderroste (Abb. 4). Das sind langsam laufende, endlose Ketten von Roststäben. Die auf der einen Seite aufgegebene Kohle verbrennt im Feuerungsraum. Ihre Rückstände, Schlacke und Asche, fallen auf der anderen Seite in den Schlackenabzug. Zur Regelung der Verbrennung bläst man Luft von unten her durch den Rost in den Feuerungsraum. Bei anderen Kohlenfeuerungen wird Kohlenstaub zusammen mit Luft in den Feuerungsraum eingeblasen und dort bei Temperaturen von etwa 1800° C verbrannt. In anderen Systemen wird Öl durch Düsen fein verteilt in den Brennraum geblasen und verbrannt. Der Brennraum selbst ist innen mit Schamotte ausgekleidet. Darüber hinaus sind in die Schamotteschicht noch Wasserrohre eingelagert, die die Strahlungswärme aufnehmen, die Schamotte schützen und zusätzlich Dampf erzeugen (Strahlungskessel).

Spezialkessel können Hochdruckdampf von 100–225 atü erzeugen. Bei dieser Art von Kesseln wird das Wasser umgepumpt (Zwangsumlaufkessel; Abb. 5), d. h., es wird sechs- bis siebenmal soviel Wasser im Kreislauf durch die Rohre geführt wie der Verdampfungsleistung entspricht, oder das Wasser wird einfach durch die Rohre des Kessels gepumpt (Zwangsdurchlaufkessel; Abb. 6).

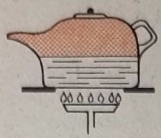


Abb. 1 Wasserkessel

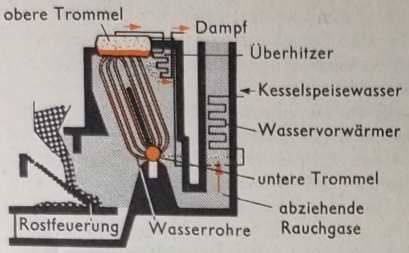


Abb. 2 Steilrohrkessel

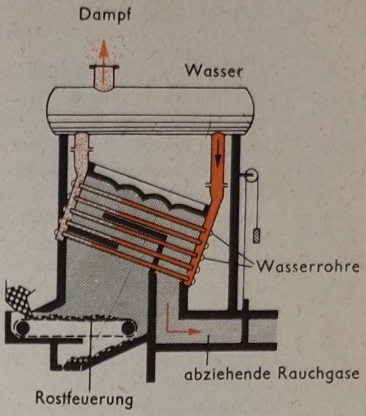


Abb. 3 Schrägrohrkessel

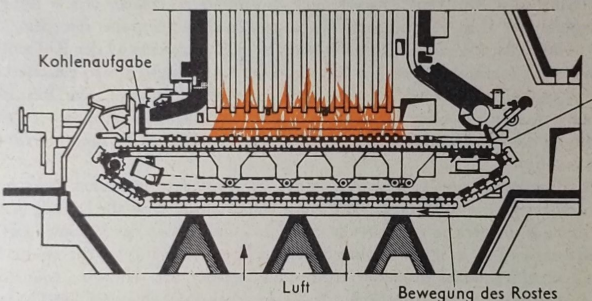


Abb. 4 Zonenwanderrost

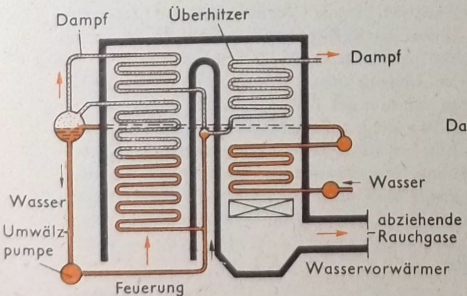


Abb. 5 Zwangsumlaufkessel

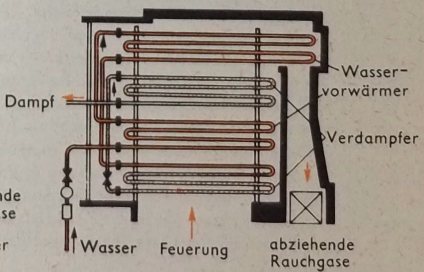


Abb. 6 Zwangsdurchlaufkessel

DAMPFMASCHINE

Dampfmaschinen nutzen die Energie aus, die in Wasserdampf, der unter hohem Druck steht, enthalten ist. Die bei der Entspannung des Dampfes freiwerdende Energie erzeugt eine Drehbewegung, die zum Antrieb von Arbeitsmaschinen verwendet werden kann. Der unter hohem Druck stehende Dampf wird in einen Zylinder geleitet, in dem sich ein Kolben befindet. Hier dehnt er sich aus und bewegt dadurch den Kolben (Abb. 1a). Ist der Kolben am Ende des Zylinders angelangt, d. h., hat er seinen Tot- oder Umkehrpunkt erreicht (Abb. 1b), dann kann der nun entspannte Dampf entweichen und die Frischdampfzufuhr wird umgesteuert. Frischer Dampf tritt nun an der anderen Seite des Kolbens ein und schiebt ihn wieder an seinen Ausgangspunkt zurück (Abb. 1c), bis er seinen anderen Umkehrpunkt erreicht hat (Abb. 1d). Eine Maschine dieser Art nennt man doppeltwirkend, weil die Kraft des Dampfes wechselweise auf zwei Seiten wirkt. Während der Kolben auf der einen Seite geschoben wird, drückt er auf der anderen Seite den entspannten Dampf aus dem Zylinder heraus. Die Umsteuerung des Dampfes, d. h. das Hinleiten des Frischdampfes auf die entsprechende Kolbenseite und das Auslassen des Entspannungsdampfes aus der anderen Seite, besorgt ein Steuerapparat, der sog. Schieber. Bisweilen erfolgt die Umsteuerung auch wie beim Verbrennungsmotor durch Ventile. Der gebräuchlichste Schieber ist der Flachschieber (Abb. 2). Er überdeckt wechselseitig den Dampfeintritts- bzw. -austrittsschlitz. Im Verlauf der Kolbenbewegung öffnet der Schieber auf der anderen Seite den Schlitz für den Austritt des Dampfes, der sich hinter dem Kolben befindet, und befördert ihn in den sog. Auspuffkanal (Abb. 2a u. 2b). Der Schieber muß also immer so stehen, daß er die arbeitende Kolbenseite mit dem Frischdampf, die ausstoßende Kolbenseite mit dem Abdampfaustritt verbindet. Zu diesem Zweck bewegt er sich entsprechend der Kolbenbewegung hin und her. Er wird durch ein Gestänge von der Kurbelwelle aus so gesteuert (Abb. 3), daß eine gegenläufige Bewegung des Schiebers zustande kommt. Der Restdampf geht nach dem Austritt aus der Maschine weiter in einen Kondensator, wo er sich durch Abkühlung niederschlägt. In anderen Fällen (z. B. bei der Dampflokomotive) strömt er direkt ins Freie.

Von Verbundmaschinen spricht man, wenn der Dampf in mehreren Zylindern (meist drei) nacheinander in Stufen entspannt wird. Dabei haben meist alle Kolben den gleichen Hub, da sie ja die gleiche Kurbelwelle antreiben. Weil jedoch das Volumen des Dampfes bei Entspannung, d. h. mit abnehmendem Druck, größer wird, hat die zweite Stufe (die Mitteldruckstufe) einen größeren Kolbendurchmesser als die erste (die sogenannte Hochdruckstufe) und die dritte Stufe (die Niederdruckstufe) einen noch größeren Kolbendurchmesser als die Mitteldruckstufe. Die Übertragung von Kraft und Bewegung auf die Antriebswelle (Kurbelwelle) geschieht durch Pleuel- oder Treibstangen über einen Kreuzkopf (Abb. 1 u. 3), ein Formstück, das sich in einer Gleitbahn hin- und herbewegt. An ihm sind zwei Stangen befestigt, einmal die Kolbenstange, welche die Bewegung des Kolbens auf den Kreuzkopf überträgt, zum anderen die Treibstange, die einerseits beweglich am Kreuzkopf, andererseits am Umfang eines Rades (oder an der Kröpfung der Kurbelwelle) befestigt ist. Bewegen sich nun der Kolben und der Kreuzkopf hin und her, so überträgt der letztere diese Bewegung auf die Kurbelwelle oder den Radumfang und erzeugt so eine Drehung. Eine Schwungscheibe an einem Ende der Kurbelwelle garantiert eine stoßfreie Umdrehung. Dampfmaschinen werden heute nur noch dort verwendet, wo man langsam laufende Maschinen mit stark wechselndem Kraftbedarf benötigt, wie z. B. bei Förderantrieben in Bergwerken, bei Walzenantrieben und Schiffsmaschinen. Die in der Kohle enthaltene Energie wird auch von den besten Dampfmaschinen nur zu 15 bis 18% ausgenutzt.

Abb. 1 Wirkungsweise einer Dampfmaschine

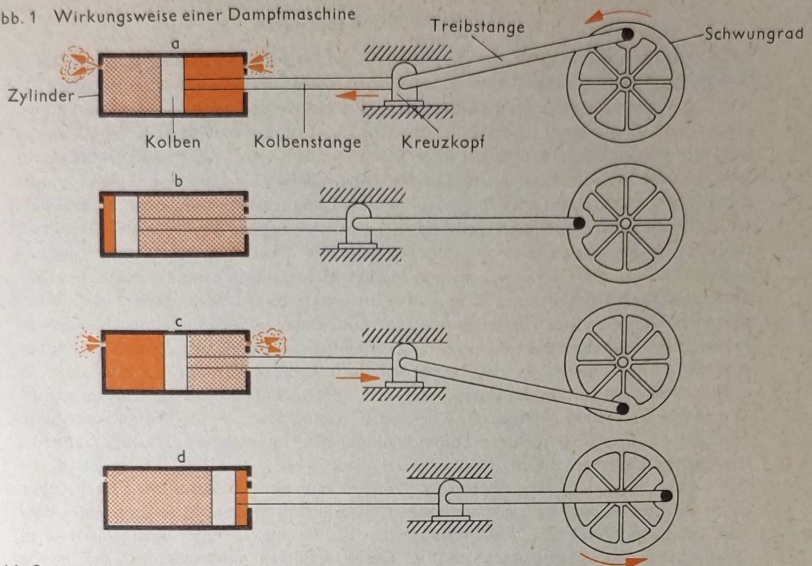


Abb. 2 Wirkungsweise eines Flachschiebers

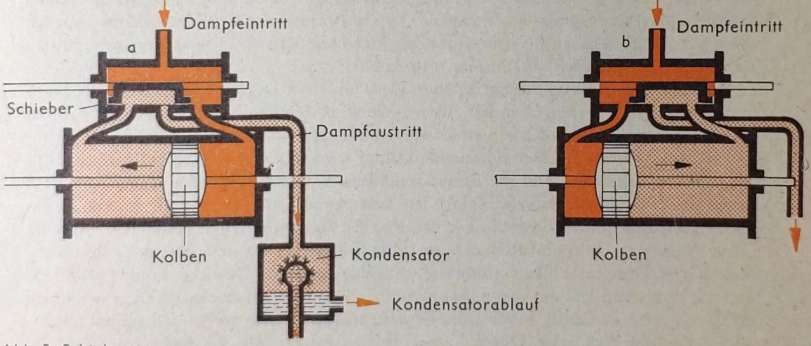
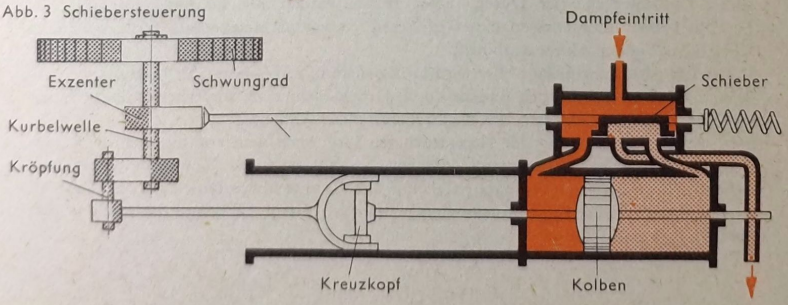


Abb. 3 Schiebersteuerung



DAMPFTURBINEN

In Dampfturbinen erzeugt Wasserdampf, der unter Druck steht, eine mechanische Drehbewegung, deren Energie man meistens zur Stromerzeugung benutzt. Dabei läßt man den Wasserdampf aus einer Düse mit großer Geschwindigkeit austreten und ihn auf Platten auftreffen, die auf einem drehbaren Rad angebracht sind. Durch die Geschwindigkeit, mit der die Dampfmenge auf diese Platten auftrifft, wird das Rad in Drehung versetzt. Um die im Dampf enthaltene Druckenergie möglichst vollständig in Geschwindigkeitsenergie umzusetzen, verwendet man bei den Dampfturbinen sogenannte Lavaldüsen (Abb. 1), die aus dem Eintrittsteil mit abgerundeten Ecken, dem engsten Querschnitt und dem nachgeschalteten erweiterten Teil bestehen. Durch die Querschnittsverengung und den Diffusor wird der Druck weitgehend in Geschwindigkeit umgewandelt. Je größer die Dampfgeschwindigkeit ist, um so größer ist auch die Kraft, die der Dampfstrahl auf ein in seinen Weg gestelltes Hindernis ausüben kann. Dabei wiederum ist ausschlaggebend, in welchem Maße der Strahl von seinem ursprünglichen Weg abgelenkt wird. Bringt man eine Anzahl von Platten, die den Dampf nahezu in Umfangsrichtung ablenken (Abb. 2), auf einem Rad an, so übt der Dampf eine Kraft auf das Rad in Umfangsrichtung aus und versetzt es in Drehung (Abb. 3). Zur vollen Ausnutzung der im Dampf enthaltenen Energie werden meist mehrere Stufen hintereinander angeordnet. Die mit Schaufeln versehenen Laufräder sitzen dabei alle auf einer Welle, sie haben infolgedessen alle die gleiche Drehzahl. Der Abbau des Druckes und die Zunahme des Durchmessers der Laufräder erfolgt in ganz bestimmten, errechneten Stufen. Man kann theoretisch den gesamten Druck des Wasserdampfes (z. B. 100 atü) in einer einzigen Düse auf Atmosphärendruck entspannen und in Geschwindigkeit umwandeln. Dabei müßte jedoch das Rad mit sehr hoher Umfangsgeschwindigkeit laufen, um einen vernünftigen Umsetzungswirkungsgrad zu erhalten; die auftretenden Zentrifugalkräfte würden dabei zur Zerstörung der Maschinen führen. Man baut daher Turbinen mit stufenweisem Abbau der Energie nach verschiedenen Prinzipien:

1. Die Geschwindigkeitsstufung: In einer Düse wird hier zwar der gesamte Dampfdruck in Geschwindigkeit umgewandelt, diese jedoch in mehreren hintereinander auf der gleichen Welle sitzenden Rädern stufenweise ausgenutzt (Curtis-Turbinen; Abb. 4).
2. Die Druckabstufung: Der eintretende Dampf wird durch eine Düse entspannt und in einem nachgeschalteten Rad die daraus resultierende Geschwindigkeit aufgebraucht. In einem als Düse dienenden nachfolgenden Leitapparat wird der Dampf wiederum ein wenig entspannt und im darauffolgenden Rad die Geschwindigkeit verbraucht (Abb. 2). Diese Folge von Düse und Rad wird so lange fortgesetzt, bis der gesamte Dampfdruck abgebaut ist. Durch alle Räder strömt nacheinander die gleiche Gewichtsmenge Dampf. Da aber mit dem schrittweisen Abbau des anfänglich hohen Dampfdrucks das Dampfvolumen mehr und mehr zunimmt, müssen die Durchtrittsquerschnitte an den Schaufeln der einzelnen Laufräder und den Düsen immer größer werden. Die Laufräder am Ende der Turbine haben infolgedessen einen größeren Außendurchmesser als die am Anfang (Gleichdruck- oder Aktionsturbinen).
3. Die Überdruckabstufung: Hier wird Druck nicht nur in Düsen oder Leitapparaten abgebaut, sondern auch in den Rädern durch Druckabbau noch zusätzliche Geschwindigkeit gewonnen (Überdruck- oder Reaktionsturbinen; Abb. 5).

Eine weitere Unterteilung der Dampfturbinen kann nach dem von ihnen ausgenützten Dampfdruckgefälle vorgenommen werden. So nutzen z. B. Kondensationsturbinen (Abb. 5) das gesamte zur Verfügung stehende Gefälle vom hohen Druck bis zum Vakuum im Kondensator aus, Gegendruckturbinen nur den oberen, Abdampfturbinen nur den unteren Teil des Gefälles.

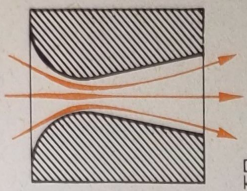


Abb. 1 Lavaldüse schematisch

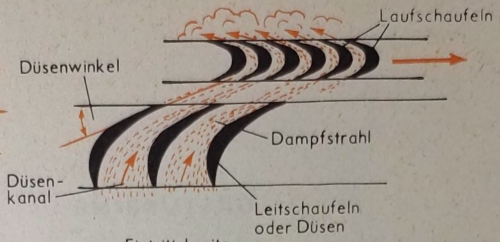


Abb. 2 Umlenkung des Dampfstrahls (Druckabstufung)

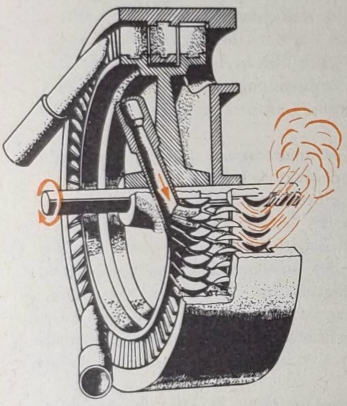


Abb. 3 Antrieb eines Rades mit Laufschaufeln (schematisch)

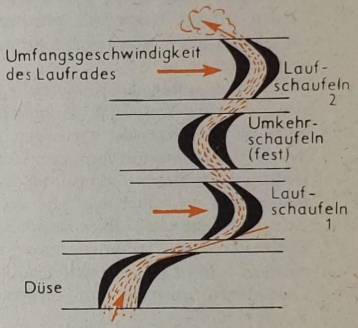


Abb. 4 Zweikranz-Curtis-Turbine schematisch (Geschwindigkeitsstufung)

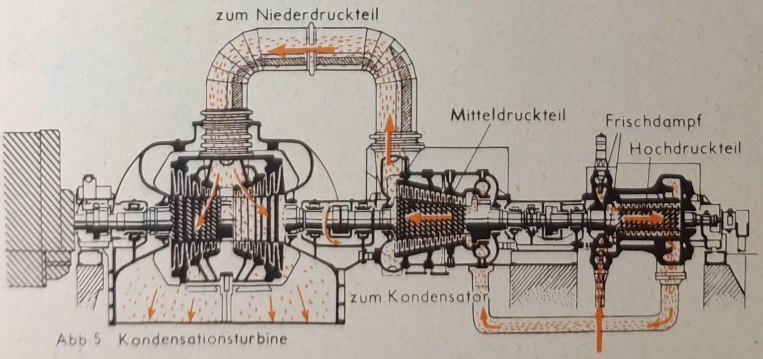


Abb. 5 Kondensationsturbine

GASTURBINE

Gasturbinen werden mit den Verbrennungsgasen flüssiger Treibstoffe betrieben. Sie gleichen in Betriebsweise und Aufbau stark der Dampfturbine (s. S. 74), denn auch in der Gasturbine erzeugt ein energiereiches strömendes Medium (die Verbrennungsgase) durch Umlenkung in mit Schaufeln versehenen Rädern eine drehende Bewegung. Abb. 1 zeigt schematisch die Wirkungsweise einer Gasturbine: Der Verdichter, auch Turbokompressor genannt, saugt Frischluft an und verdichtet sie auf 3 bis 5 atü; er drückt sie über einen Wärmetauscher, wo sie durch die noch heißen, der Turbine entströmenden Verbrennungsgase vorgewärmt wird, schließlich in die Brennkammer. Hier werden flüssige Brennstoffe verbrannt, so daß Verbrennungsgase von rund 650° C entstehen. Diese Verbrennungsgase strömen mit großer Geschwindigkeit in die Turbine und treiben sie an.

Die Turbine selbst, der Kompressor und der der Stromerzeugung dienende Generator sitzen auf einer Welle. Die Turbine kann nicht ihre gesamte Leistung zur Stromerzeugung auf den Generator übertragen, da sie einen erheblichen Teil davon zum Antrieb des Turbokompressors benötigt. Zum Anfahren der Turbine verwendet man einen Elektromotor, der erst einmal den Kompressor in Betrieb setzen muß, damit Luft gefördert und verdichtet wird und zur Erzeugung der Brenngase zur Verfügung steht. Erst dann kann die Turbine anspringen. Abb. 2 zeigt die Ausführung einer Gasturbine. Die bekannteste Ausführungsform von Gasturbinen ist das Strahltriebwerk eines Flugzeugs (s. S. 694 ff.). Dieses stellt jedoch nur eine Spezialanwendung dar, während normale Gasturbinen sonst nur dort Verwendung finden, wo flüssige Treibstoffe billiger als Kohle sind.

Ein anderer Typ der Gasturbine ist die Heißluftturbine (Abb. 3). Hier durchströmen nicht die heißen Verbrennungsgase die Turbine, sondern Luft, die in einem Wärmetauscher durch die heißen Verbrennungsgase erhitzt wird. Diese Heißluft läuft immer im Kreis, d. h., nach Verlassen der Turbine saugt sie der Kompressor erneut an. Zuvor muß jedoch die Luft jeweils gekühlt werden, da sonst die Schaufeln des Kompressors bei zu hohen Temperaturen arbeiten müßten und bald zerstört wären.

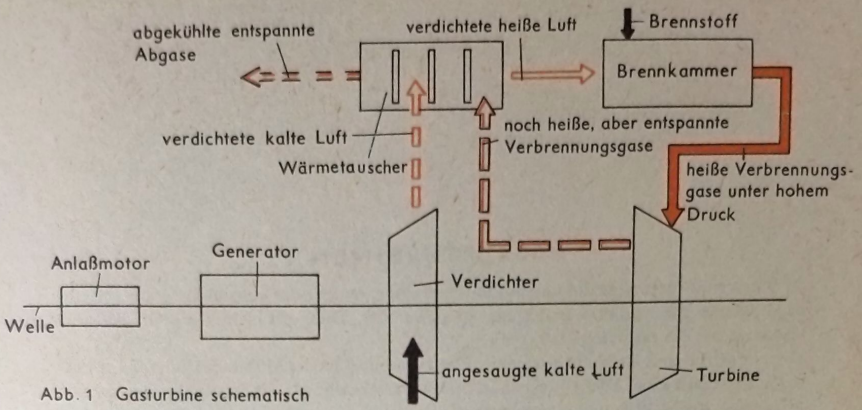


Abb. 1 Gasturbine schematisch

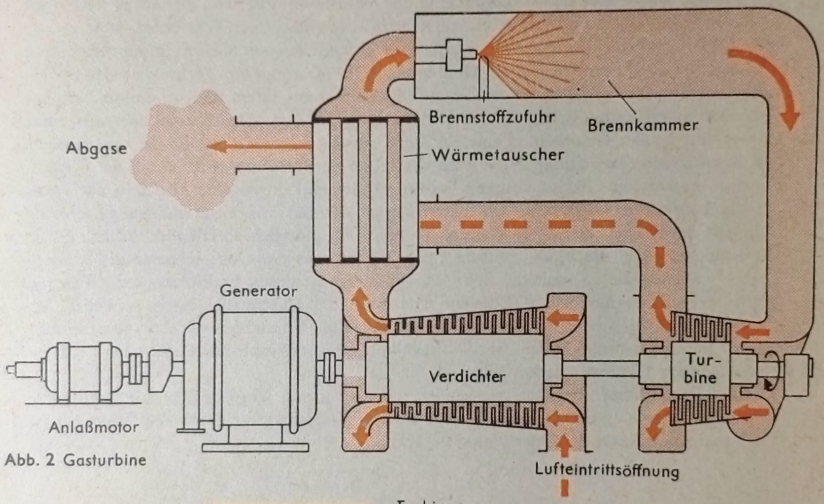


Abb. 2 Gasturbine

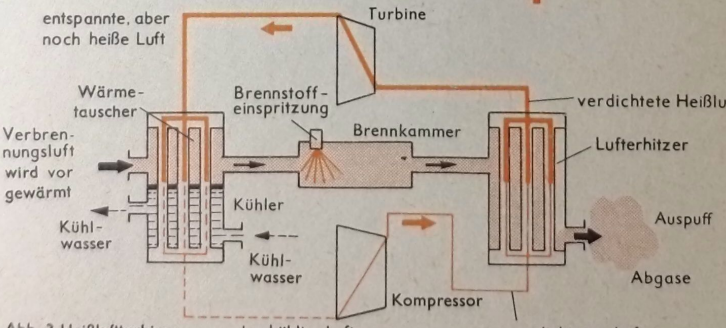


Abb. 3 Heißluftturbine

WASSERTURBINEN I

In Wasserturbinen wird die kinetische Energie fließender oder stürzender Wassermassen in drehende mechanische Bewegung umgewandelt. Dies geschieht dadurch, daß der Wasserstrom ein Schaufelrad antreibt.

Die einfachste und älteste Form einer „Wasserturbine" ist das Mühlrad. Hier wird das natürliche Gefälle eines Baches ausgenutzt. Das Wasser trifft auf die Schaufeln eines großen hölzernen Rades, das meist unmittelbar die Mahlsteine antreibt. Strömt es von oben auf die Schaufeln, so spricht man von einem oberschlächtigen Wasserrad, trifft es wie in Abb. 1 auf die jeweils unten laufenden Schaufeln, von einem unterschlächtigen Wasserrad. Die Form des alten Mühlrades greift die moderne Technik in der *Pelton-* oder *Freistrahlturbine* (Abb. 2) wieder auf. Sie besteht aus einem Rad, an dessen Peripherie halbkugelförmige Schaufeln (Abb. 3) angebracht sind. Das Wasser tritt aus einer Düse mit großer Geschwindigkeit aus, trifft auf die Schaufeln des Rades und versetzt es in rotierende Bewegung. Die Geschwindigkeit der Drehung wird durch die Wassermenge und deren Geschwindigkeit bestimmt; sie wird durch eine Nadel in der Düse geregelt (die Turbine arbeitet am besten, wenn sich das Rad mit der halben Geschwindigkeit der auftreffenden Wasserstrahlen dreht). Bei plötzlich abfallender Belastung der Turbine zweigen die Strahlablenker einen Teil des aus der Düse schießenden Wasserstrahls ab, bis die Düsennadel den Querschnitt entsprechend verkleinert hat (Abb. 4). Würde man nämlich bei plötzlichem Lastabfall die Düsennadel rasch verstellen, so würde der dabei auftretende sog. Wasserschlag unter Umständen die Anlage beschädigen. In den meisten Fällen ist die Regelung des Strahlablenkers mit einem stromerzeugenden Generator gekoppelt.

Eine Peltonturbine wird dort verwendet, wo man große Wassergefälle zur Verfügung hat. Das Wasser wird von einem hochgelegenen Wasserspeicher durch Rohrleitungen zu der tiefer gelegenen Turbinenstation geführt.

Abb. 1 Unterschlächtiges Mühlrad

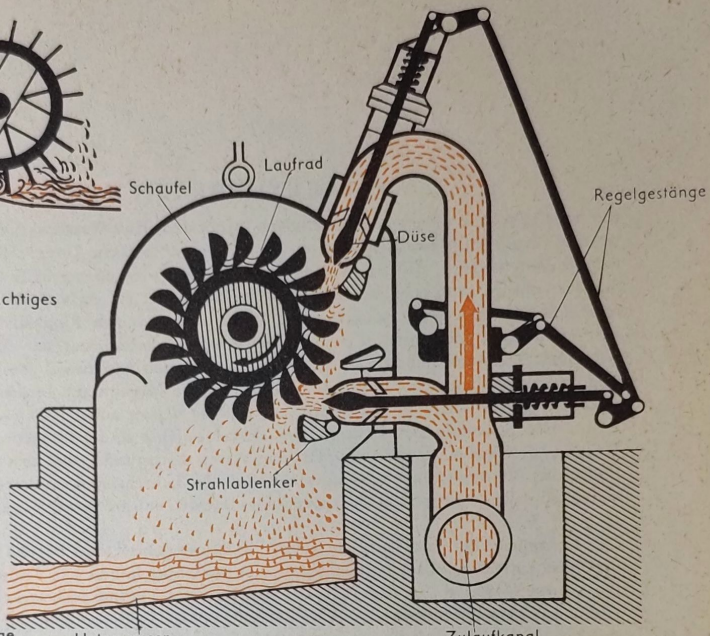


Abb. 2 Zweidüsige Freistrahlturbine

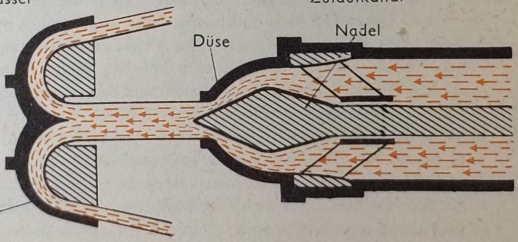
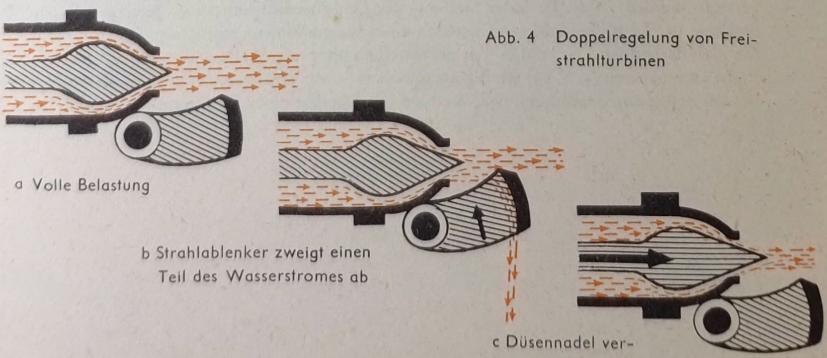


Abb. 3 Düse mit Schaufel einer Freistrahlturbine



a Volle Belastung

b Strahlablenker zweigt einen Teil des Wasserstromes ab

c Düsennadel verringert Wassermenge

Abb. 4 Doppelregelung von Freistrahlturbinen

WASSERTURBINEN II

Für fast alle vorkommenden Anforderungen (große und kleine Wassermengen und Gefälle) werden *Francis-* oder *Radialturbinen* verwendet. Der wesentliche Unterschied zur Peltonturbine besteht darin, daß das Wasser innerhalb der Turbine umgelenkt wird; die Umlenkung erfolgt senkrecht zur Eintrittsrichtung (Abb. 1); dadurch wird das Turbinenrad in Drehbewegung versetzt. Das Wasser tritt in einen Ringkanal ein, der die Turbine umgibt. Dann gelangt es in den feststehenden Leitapparat, der dem Wasser die günstigste Strömungsrichtung gibt. Es trifft dann auf den Außenrand des Turbinenrades und durchläuft dieses radial, d.h. von außen her zum Mittelpunkt. Innerhalb des Rades sind gekrümmte Schaufeln angebracht, auf die das Wasser auftrifft und so das Rad antreibt. Die Schaufeln des Leitapparates (Leitschaufeln) sind so angeordnet, daß die Energie des Wassers weitgehend in Drehbewegung umgewandelt und nicht durch Wirbel und andere Verlustströmungen aufgezehrt wird. Die Leitschaufeln sind meist verstellbar, so daß eine den Wasser- und Belastungsschwankungen entsprechende Regelung möglich ist.

Der Leitapparat der Francisturbine ist der „Richtungsgeber", dem bei der Peltonturbine die Düse entspricht. Durch einen Kanal, der vom Mittelpunkt der Turbine wegführt, strömt das Wasser ab. In Abb. 1 ist der Aufbau einer Turbine schematisch dargestellt: Abb. 1a zeigt den Ringkanal, die Leit- und Laufapparate, während Abb. 1b einen Schnitt durch Abb. 1a zeigt und die senkrechte Ablenkung des Wassers deutlich erkennen läßt.

Bei ganz kleinen Gefällen und großen Wassermengen, etwa bei Staustufen eines Flusses, bedient man sich einer *Kaplan-* oder *Propellerturbine*. Sie gleicht der Antriebsschraube eines Schiffes, arbeitet aber im umgekehrten Sinne: Während die Schiffsschraube sich dreht, das Wasser hinter sich wegdrückt und dadurch das Schiff vorwärtsschiebt (s. S. 678), strömt in der Kaplanturbine das Wasser durch die Schraube und versetzt sie in Drehbewegung. Das Wasser tritt durch einen Ringkanal seitlich in die Turbine ein (Abb. 2), wird durch den Leitapparat umgelenkt und strömt an der Achse des Propellers entlang. Aus diesem Grunde spricht man auch von einer Axialturbine. Die Menge des durchlaufenden Wassers kann durch Veränderung des Abstandes zwischen den Schaufeln des Leitapparates reguliert werden; dann müssen jedoch auch die Laufschaufeln entsprechend verstellt werden (Abb. 3). Jeder Stellung der Leitschaufeln entspricht jeweils nur eine Stellung der Laufschaufeln zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades.

Die sich drehenden Läufer aller Turbinen treiben über eine Welle und eventuell über Getriebe Generatoren (s. S. 94) an, die elektrischen Strom erzeugen. Wasserturbinen zählen zu den Strömungskraftmaschinen, weil sie die Energie einer Strömung ausnützen.

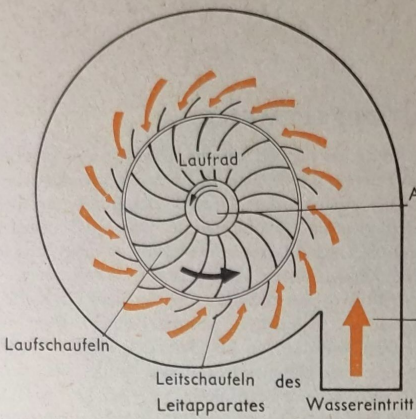


Abb. 1a Francisturbine schematisch (Seitenansicht)

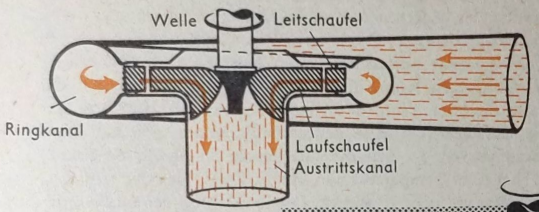


Abb. 1b Schnitt durch eine Francisturbine

Wasser-eintritt

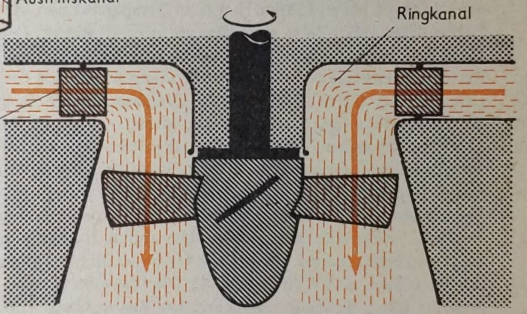


Abb. 2 Kaplanturbine (schematisch)

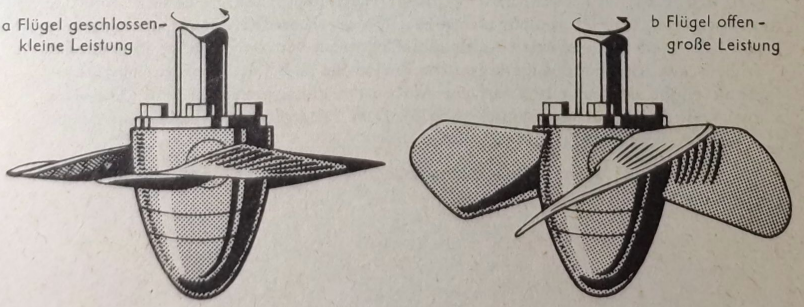


Abb. 3 Laufrad einer Kaplanturbine

BRENNSTOFFELEMENT

Ein Brennstoffelement ist eine Vorrichtung, in der die bei der Oxydation eines konventionellen Brennstoffes freiwerdende Energie unmittelbar in Form eines elektrischen Stromes anfällt. Es vermeidet somit den verlustreichen Umweg der herkömmlichen thermischen Kraftwerke über die „minderwertige" Wärmeenergie. Obwohl das Brennstoffelement bereits im Jahre 1894 durch W. Ostwald propagiert wurde, konnten erst in den letzten zehn Jahren Erfolge in der Konstruktion leistungsfähiger Zellen erzielt werden. In der von Baur und Ehrenberg 1911 gebauten Zelle (Abb. 1) dient ein Kohlestab als Brennmaterial. Er soll als Anode C^{++++}-Ionen in Lösung bringen. Dazu ist eine Betriebstemperatur von 1000 bis 1100°C erforderlich. Als Elektrolyt dient schmelzflüssige Soda. Die aus schmelzflüssigem Silber bestehende Kathode bildet aus dem laufend eingeblasenen Sauerstoff O^{--}-Ionen. Nach der Gleichung $C^{++++} + 2\ O^{--} = CO_2$ erhält man als Reaktionsprodukt Kohlendioxid wie bei der gewöhnlichen Verbrennung. Pro umgesetztes C-Atom werden vier Elektronen an den Kohlestab abgegeben und vier Elektronen der Sauerstoffelektrode entzogen. Diese vermögen somit in einem äußeren Stromkreis Arbeit zu leisten. Nach dieser Auffassung ist ein Kohleofen ein Brennstoffelement mit einem inneren elektrischen Kurzschluß. Der entscheidende Nachteil der beschriebenen Konstruktion ist die hohe Temperatur und die deswegen sehr kurze Lebensdauer der verwendeten Werkstoffe. Mildere Betriebsbedingungen gestatten Gase (speziell Wasserstoff) als Brennmaterial. So erzielt die Baconsche H_2-O_2-Zelle (Abb. 2) Stromdichten bis zu 1 A/cm² bei einer Temperatur von 240°C. Der Druck des wäßrigen Elektrolyten steigt dabei allerdings auf über 70 atm an. Die Ionisierung der zugeführten Gase erfolgt an Diffusionselektroden aus Nickel. Das sind poröse Sinterkörper, die auf der einen Seite mit dem Gas in Verbindung stehen, auf der anderen Seite mit dem Elektrolyten. Der aktive Bereich ist die Dreiphasengrenze Gas/Elektrode/Elektrolyt. Damit diese Grenze möglichst lang wird, müssen sämtliche Poren den gleichen optimalen Durchmesser haben, wie Abb. 3 verdeutlicht (Prinzip der Homöoporosität). Um den Durchsatz von ungenutztem Gas völlig zu verhindern, erhält jede Elektrode eine feinporige Deckschicht (Doppelschichtelektrode). Durch die hohe katalytische Aktivität der verwendeten Elektroden ist bereits ein Betrieb bei Zimmertemperatur möglich. Die Ertränkung der Elektroden wird hier durch Hydrophobierung vermieden. Ebenfalls bei Zimmertemperatur arbeitet die H_2-O_2-Zelle mit Doppelskelett-Katalysator-Elektroden nach Justi und Winsel (Abb. 4). Die Wasserstoffelektroden enthalten als Katalysator Raney-Nickel, die Sauerstoffelektroden Raney-Silber. Das Element erreicht bei Temperaturen unter 100°C (und damit bei Atmosphärendruck!) fast die hohe Stromdichte der Bacon-Zelle. Die Urspannung beträgt über 90% der theoretisch erreichbaren Spannung von 1,23 Volt*. Doppelskelett-Katalysator-Elektroden vermögen infolge ihrer großen katalytischen Aktivität flüssige organische Brennstoffe (z. B. Methanol) zu dehydrieren. Damit ergibt sich der relativ einfache Aufbau der Flüssigbrennstoff-Zelle (Dissolved Fuel Cell) nach Justi und Winsel (Abb. 5). Dem Elektrolyten (Kalilauge) ist der als Brennstoff dienende Alkohol beigemischt.

* E. Justi und A. Winsel, „Kalte Verbrennung – Fuel Cells", Wiesbaden 1962 (Verlag Fr. Steiner).

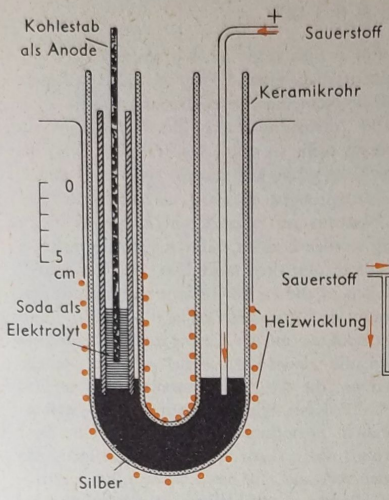


Abb. 1 Hochtemperaturzelle nach Baur und Ehrenberg

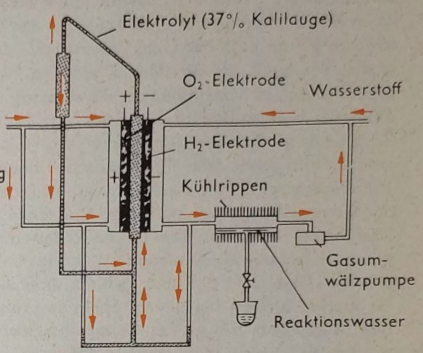


Abb. 2 Hochdruck-Knallgas-Element mit porösen Nickelelektroden nach F. T. Bacon

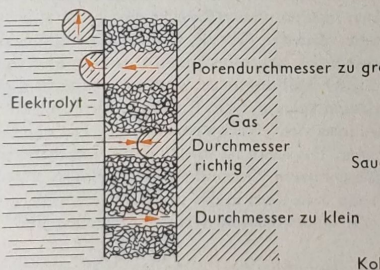


Abb. 3 Gasdiffusionselektrode mit unterschiedlich weiten Poren

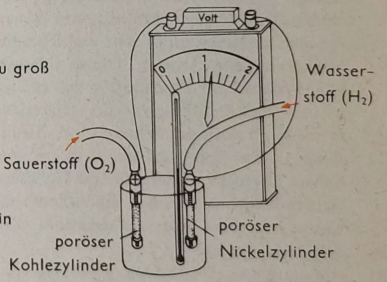


Abb. 4 H_2-O_2-Zelle mit Doppelskelett-Katalysator-Elektroden von Justi und Winsel

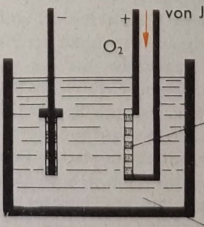


Abb. 5 Flüssigbrennstoff-Zelle nach Justi und Winsel (katalytische Dehydrierung von im Elektrolyt gelöstem Brennstoff)

ATOMREAKTOR

Der Atomreaktor dient der Umwandlung von Atomenergie in Wärmeenergie. Atomkerne bestehen im wesentlichen aus den Elementarbausteinen Protonen und Neutronen. Die Protonen sind positiv geladen, während die Neutronen keine Ladung tragen. Zwischen diesen „Nukleonen" wirken sehr starke Anziehungskräfte, die sie im Kern zusammenhalten. Schwere Atomkerne sind jedoch nicht so stabil wie leichtere, weil bei ihnen die Abstoßungskräfte der Protonen das Kerngefüge auflockern. Es gelingt daher, schwere Kerne, z. B. das Uran 235, dadurch zu sprengen, daß man sie mit freien Neutronen beschießt. In der Abb. 1 trifft ein Neutron auf einen Uran-235-Kern. Dieser gerät dadurch in Schwingungen, die so heftig werden können, daß der Kern in mehrere Teile, z. B. in einen Barium- und einen Kryptonkern, gespalten wird. Die „Spaltprodukte" fliegen mit großer Geschwindigkeit fort, stoßen irgendwo im Reaktor mit Materie zusammen und geben dabei ihre kinetische Energie als Wärme ab. Das ist die Umwandlung von Kernenergie in Wärme. Neben den Spaltprodukten und der Wärme entstehen aber bei der Uranspaltung noch zwei neue Neutronen, die wieder dazu dienen können, weitere Uranatome zu spalten. Das ist die *Kettenreaktion*, die die Abb. 2 veranschaulicht: Das von links kommende Neutron trifft auf den U-235-Kern, bildet kurzzeitig das Zwischenprodukt Uran 236, das aber spontan diesmal in Strontium und Xenon zerfällt. Drei Neutronen bleiben bei diesem Spaltungsprozeß übrig. Um diese drei Neutronen, die den Mutterkern mit großer Geschwindigkeit verlassen, für neue Spaltungen nutzbar machen zu können, muß man sie abbremsen. Neutronen mit kleinen Geschwindigkeiten sind viel besser geeignet, Atome zu spalten, als solche mit großer Geschwindigkeit. Sie können länger mit dem Urankern in Wechselwirkung treten, während die Verweilzeit der schnelleren Neutronen in Kernnähe zu kurz ist, als daß der Spaltungsprozeß eingeleitet werden könnte. Die Abbremsung geschieht dadurch, daß die Neutronen beim Zusammenstoß mit leichten Atomen, von denen man zu diesem Zwecke eine große Anzahl im Reaktor einbauen muß, sehr viel Energie verlieren; Wasser, Graphit u. a. bestehen aus solchen leichten Atomen. Die so abgebremsten Neutronen spalten dann wieder weitere U-235-Kerne. So ist dadurch, daß bei jeder Spaltung neue Neutronen entstehen, dafür gesorgt, daß die Kettenreaktion weiterlaufen kann und den Reaktor in Betrieb hält.

Die Abb. 3 zeigt das Schema eines Atomreaktors (Druckwasserreaktor). Der eigentliche Reaktor, das Core, ist links eingezeichnet. Das Uran ist in der Form von metallischen Stäben in einem wassergefüllten Gefäß angebracht. Dort erfolgt die Spaltung. Die dabei freiwerdenden Neutronen diffundieren aus dem Uran in das umgebende Wasser, wo sie häufig mit den leichten Wasserstoff- und Sauerstoffatomen zusammenstoßen und dabei gebremst werden.

Als langsame Neutronen gelangen sie dann mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit wieder einmal in einen Uranstab und bewirken dort neue Spaltungen. Die dabei entstehenden Spaltprodukte geben ihre Energie als Wärme im Uran ab, dieses gibt sie an das Wasser weiter, das umgepumpt wird und seine Wärme durch einen Wärmetauscher in einen normalen sekundären Wärmekreislauf abliefert. Damit der Reaktor weder verlischt noch sich lawinenartig aufheizt, muß der Neutronenhaushalt sehr genau geregelt werden. Dazu dienen die Regelstäbe, die aus neutronenabsorbierendem Material bestehen und mit einer einstellbaren Tiefe in das Reaktorcore eintauchen. Ihre Eintauchtiefe muß gerade so groß sein, daß pro Spaltung im Mittel nur ein Neutron für eine neue Spaltung übrig bleibt. Da die Spaltprodukte in der Regel stark radioaktiv sind, ist es notwendig, den Reaktor mit einem starken Betonmantel, dem „Abschirmschild" zu umgeben. Im Siedewasserreaktor (Abb. 4) wird die Verdampfung des Wassers im Reaktor selbst zugelassen, die Ausnutzung des Dampfes erfolgt im Primärkreislauf; ein Wärmetauscher kann prinzipiell wegfallen.

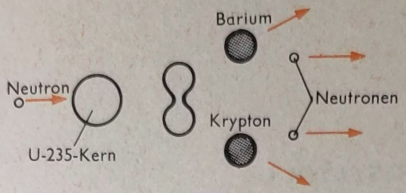


Abb. 1 Spaltung eines Uran-235-Kerns durch ein Neutron

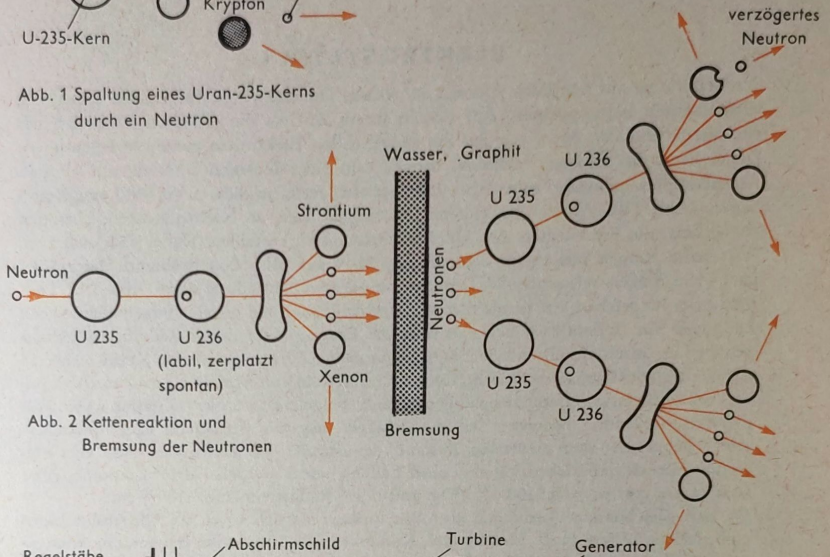


Abb. 2 Kettenreaktion und Bremsung der Neutronen

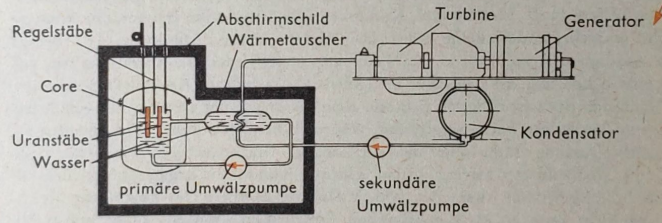


Abb. 3 Druckwasserreaktor schematisch

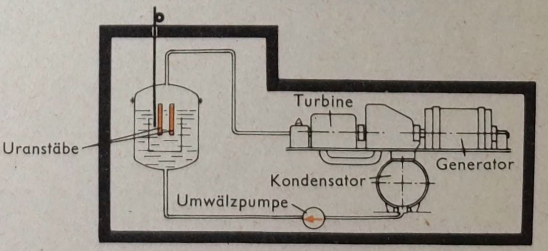


Abb. 4 Siedewasserreaktor schematisch

ELEKTROSTATIK I

Die Materie ist aus neutralen Atomen aufgebaut. Die elektrische Neutralität der Atome wird dadurch hervorgerufen, daß sich in ihrem Aufbau die positiven Ladungen des Atomkerns mit den negativen der ihn umgebenden Elektronen gerade kompensieren. Dabei kann das äußerste Elektron entweder in einer lockeren Bindung am übrigen Atomkomplex gebunden sein (Abb. 1a) oder aber fester in diesem Verband eingebettet liegen (Abb. 1b). Atome der ersteren Art neigen dazu, an Nachbaratome Elektronen abzugeben, die der zweiten Art, jenen Elektronen zu entreißen. Daher lädt sich z. B. Glas beim Reiben mit einem Seidentuch positiv auf (Abb. 2a), während Hartgummi nach dem Reiben mit einem Wollappen eine negative Aufladung zeigt (Abb. 2b). Lädt man zwei Kügelchen, die pendelförmig aufgehängt sind, mit gleichnamigen elektrischen Ladungen auf (indem man beispielsweise die Ladung eines durch Reibung aufgeladenen Stabes durch Berühren überträgt), so beobachtet man abstoßende Kräfte (Abb. 3a u. 3b). Ungleichnamige Aufladung führt zum Auftreten von Anziehungskräften (Abb. 3c) und bei Berührung der ungleichnamig geladenen Kügelchen zur Neutralisation (Abb. 3d). Positive Aufladung bedeutet Elektronenmangel, negative Aufladung Elektronenüberschuß gegenüber dem neutralen Zustand der Atome. Die Elektronen sind die Elementarteilchen der Elektrizität mit einer Ladung von $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb, einer Ruhemasse von $m_0 = 0{,}9108 \cdot 10^{-27}$ g und einem Radius von $2{,}82 \cdot 10^{-13}$ cm.

Da sich gleichnamige Ladungen abstoßen, ordnen sie sich so an die Oberfläche eines elektrischen Leiters (z. B. Metallkugel, Konduktor), daß in dessen Inneren ein ladungsfreier Raum entsteht, in dem keine elektrischen Kräfte wirken (Abb. 4a u. 4b). Bringt man einen geladenen Konduktor in die Nähe eines ungeladenen (neutralen), so tritt auf letzterem eine Scheidung der Ladungen ein (Abb. 5a). Ist der erste Konduktor positiv geladen, so lädt sich der ursprünglich neutrale Konduktor auf der dem positiv geladenen Konduktor zugewandten Seite negativ auf, während die abgewandte Seite die entsprechende positive Ladung trägt. Leitet man die Ladung – die abgestoßen wird – zur Erde ab (Abb. 5b), so bleibt der zweite, vorher neutrale Konduktor negativ aufgeladen zurück (Abb. 5c). Man nennt diese Art von Aufladung *Influenz*. Die Abstoßung gleichnamiger Ladungen kann an stark gekrümmten Oberflächen (Spitzen) zu so hohen Abstoßungskräften führen, daß die Ladungsträger (Elektronen) den Konduktor verlassen (Abb. 6) und z. B. auf einen neutralen Konduktor aufgesprüht werden können, der sich dann entsprechend dem Vorzeichen der aufgesprühten Ladung (in unserem Fall negativ) auflädt.

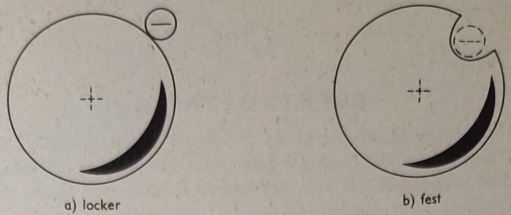


Abb. 1
Elektronenbindung
am Atom

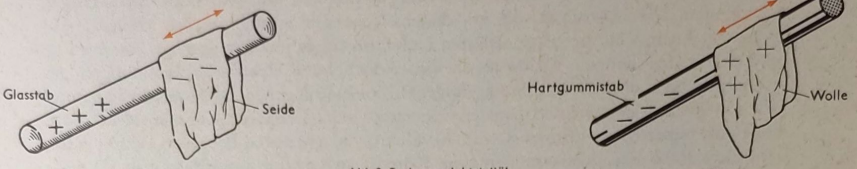


Abb.2 Reibungselektrizität

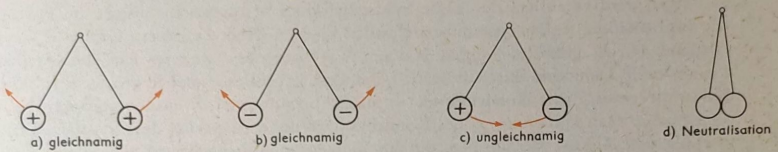


Abb. 3 Kraftwirkung zwischen Ladungen

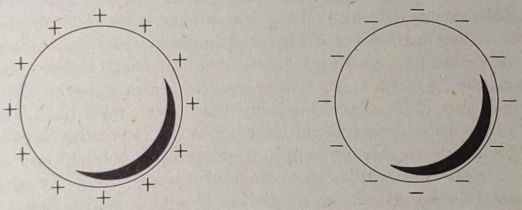


Abb. 4
Ladungsverteilung an
der Oberfläche

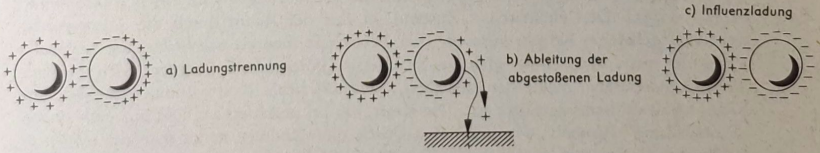


Abb. 5 Aufladung durch Influenz

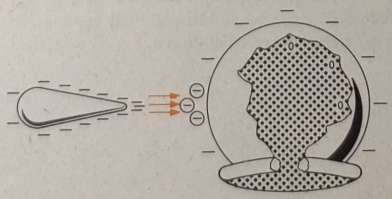


Abb. 6 Spitzenwirkung

ELEKTROSTATIK II

Der Van-de-Graaffsche Generator (Abb. 1) benützt die Möglichkeit, Ladungen aufzusprühen. Auf ein isolierendes Transportband wird Ladung aufgebracht, das Transportband trägt diese Ladung in das von elektrischen Kräften freie Innere eines Konduktors von großem Radius. Dort werden mit spitzen Elektroden (Kamm) die Ladungen abgesaugt, die sich auf der Oberfläche des Leiters ansammeln und sehr hohe Aufladungen hervorrufen. Die Leistungen, die mit diesem Generator erzeugt werden können, sind nicht sehr hoch, weil die transportierten Ladungsmengen nur eine geringe Stromstärke aufrechterhalten können. Dafür lassen sich jedoch hohe elektrische Spannungen gewinnen, die bis in die Größenordnung einiger Millionen Volt gehen. Die Höhe der Spannung läßt sich dadurch steigern, daß man den Generator in eine Überdruckkammer stellt, so daß die Funkenüberschlagsspannung vom Konduktor zu geerdeten Bauteilen erhöht wird. Das elektrische Fassungsvermögen eines Körpers an Ladung bezeichnet man als seine *Kapazität*. Eine Vorrichtung, deren Kapazität von geometrisch vorgebbaren bzw. veränderlichen Größen abhängt, nennt man einen *Kondensator*. Seine Aufnahmefähigkeit an Ladungen wird vor allem durch die Influenzwirkung bestimmt. Er besteht im Prinzip aus zwei einander isoliert gegenüberstehenden Flächen (Abb. 2a), deren Größe (F) und Abstand (d_1, d_2) geändert werden können. Wie man ohne weiteres einsieht, werden um so mehr Ladungen durch Influenz gebunden, je größer F und je kleiner d ist. Die Kapazität eines Plattenkondensators ist daher proportional F und umgekehrt proportional d. Man konstruiert daher Kondensatoren hoher Kapazität durch Aufeinanderwickeln von dünnen Metallfolien, die durch eine dünne Papierschicht als Isolator voneinander getrennt sind. Als hydraulischer Vergleich für die Kapazität eines Kondensators bietet sich das Fassungsvermögen eines Behälters an, das von seiner Grundfläche und von seiner Höhe abhängt (Abb. 2b). Bringt man an einem Konduktor ein kleines Kugelpendel an, so beobachtet man beim Aufladen des Konduktors eine der Höhe der Aufladung proportionale Abstoßung des Kugelpendels (Abb. 3a). Dieser Vorgang entspricht einem hydraulischen, bei dem man den Wasserdruck in einem Behälter erhöht und diesen Druck mittels eines U-förmigen Quecksilbermanometers mißt (Abb. 3b). Dem Druck im hydraulischen Falle entspricht im elektrischen die elektrische Spannung (gemessen in Volt). Mit der elektrischen Ladung Q (gemessen in Coulomb) und der elektrischen Kapazität C eines Konduktors (gemessen in Farad), hängt die elektrische Spannung (U) nach folgender Beziehung zusammen: $U = Q/C$. In dem Raum, der einen elektrisch geladenen Körper umgibt, tritt eine elektrische Spannung auf, die proportional der Ladung Q und umgekehrt proportional der Entfernung r vom Körpermittelpunkt ist ($U \sim Q/r$). Den elektrischen Zustand, in den der Raum durch die Anwesenheit elektrisch geladener Körper versetzt wird, bezeichnet man als *elektrisches Feld* (Abb. 4). Verbindet man die Punkte gleicher Spannung (Potential), so ergeben sich Flächen gleichen Potentials (Äquipotentialflächen, Niveauflächen). Kräfte treten dann stets in Richtung des Potentialgefälles auf. Die Kraft, die im elektrischen Feld auf eine kleine „Probeladung" ausgeübt wird, dividiert durch diese Ladung, nennt man die *elektrische Feldstärke*. Sie ist stets senkrecht zu den Niveauflächen gerichtet. Die Wirkungslinien der Feldstärke bzw. Kraft verbindet man zu Feld- bzw. Kraftlinien. Mittels der Potentialflächen und Feldlinien läßt sich das elektrische Feld beschreiben. Positive Ladungen sind Quellen, negative sind Senken von Feldlinien.

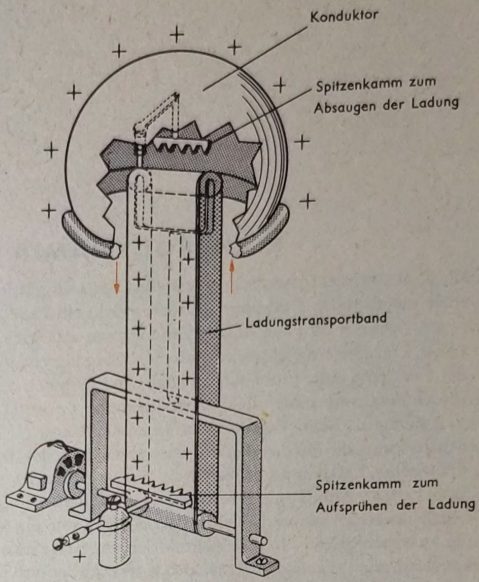


Abb. 1 Van-de-Graaffscher Generator

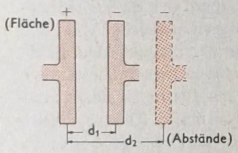


Abb. 2a Elektrische Kapazität

Flüssigkeitshöhen

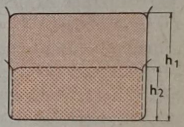


Abb. 2b Hydraulische Kapazität

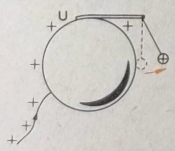


Abb. 3a Elektrische Spannung U

Vergleich zwischen elektrostatischen und hydrostatischen Vorgängen

Abb. 3b Hydraulischer Druck

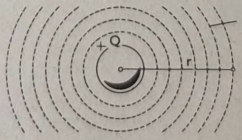


Abb. 4 Elektrisches Feld

ELEKTRODYNAMIK I

Verbindet man zwei elektrostatisch verschieden hoch aufgeladene Konduktoren ($U_1 > U_2$) durch einen metallischen Draht miteinander, so tritt ein Ladungsausgleich in Gestalt eines elektrischen Stromes ein, bis beide Konduktoren das gleiche Potential angenommen haben (Abb. 1a). Diesem elektrodynamischen Vorgang entspricht im hydraulischen Vergleich der Übergang einer Flüssigkeitsmenge beim Bestehen eines Druckgefälles (Abb. 1b). Die Aufrechterhaltung einer Elektrizitätsströmung erfordert die Aufrechterhaltung der Spannungsdifferenz. Beim Van-de-Graaffschen Generator (s. S. 88) geschieht dies durch die Arbeitsleistung, die mit dem Ladungstransport durch das Band verbunden ist (Abb. 2a). Im hydraulischen Fall tritt an die Stelle des Transportbandes eine Pumpe (bzw. ein Band mit Schöpfkellen; Abb. 2b). Abweichend vom Verhalten einer Flüssigkeitsströmung ruft die Elektrizitätsströmung in dem sie umgebenden Raum ein Magnetfeld hervor. Die Zuordnung zwischen Strom- und Magnetfeldrichtung prägt man sich am besten mittels der „Korkenzieherregel" ein: Bewegt man den Korkenzieher im Sinne einer Rechtsschraubung drehend in Richtung des Flusses positiver Ladungsträger, so gibt der Drehsinn die Richtung der den Leiter kreisförmig umgebenden magnetischen Feldlinien an. Die Existenz dieses Feldes läßt sich z. B. durch die Ablenkung einer Kompaßnadel nachweisen (Abb. 3a). Windet man einen geradlinigen Leiter zu einer Spule auf, so überlagern sich die kreisförmigen Feldlinien zu einem Magnetfeldverlauf, der dem eines Stabmagneten gleicht (Abb. 3b). Die magnetische Wirkung läßt sich noch verstärken, wenn man den magnetischen Feldlinienfluß durch eine Substanz leitet, die einen geringeren magnetischen Widerstand zeigt als Luft. Die geeignetste Substanz ist Eisen. Eine Spule mit Eisenkern nennt man einen Elektromagneten (Solenoid; Abb. 4a). Häufig verwendet man zwei Elektromagneten mit einem gemeinsamen Joch (Abb. 4b). Die Spulen haben dann entgegengesetzten Wicklungssinn, so daß nach je einer Seite ein freier Nord- und Südpol zeigt. Die Quelle der magnetischen Feldlinien ist der Nordpol, der Südpol ist ihre Senke. Der Magnetismus tritt stets in Gestalt von Doppelpolen (Dipolen) auf; freie positive und negative magnetische Ladungen wie im elektrischen Falle gibt es nicht.

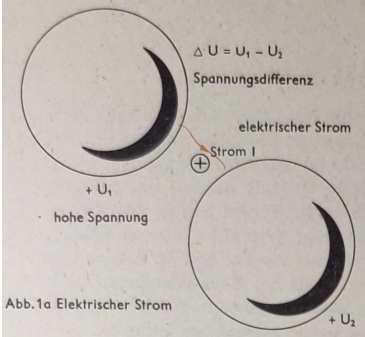


Abb. 1a Elektrischer Strom

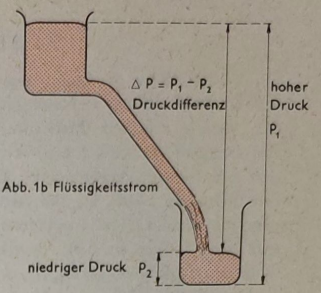


Abb. 1b Flüssigkeitsstrom

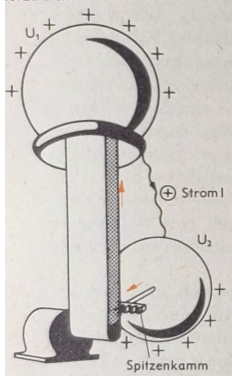


Abb. 2a Elektrischer Generator

Vergleich zwischen elektrodynamischen und hydrodynamischen Vorgängen

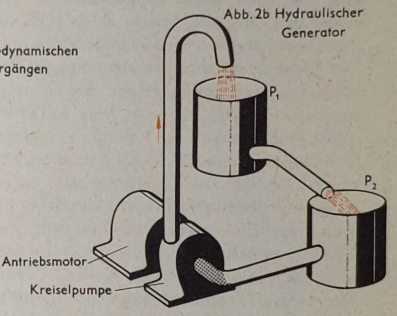


Abb. 2b Hydraulischer Generator

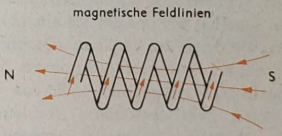


Abb. 3b Magnetfeld einer Spule (zum Vergleich Magnetstab)

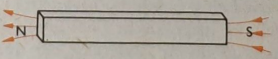


Abb. 3a Magnetfeld eines Leiters

(Korkenzieherregel)

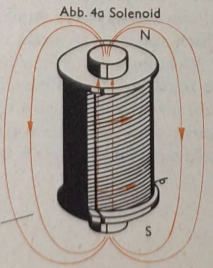


Abb. 4a Solenoid

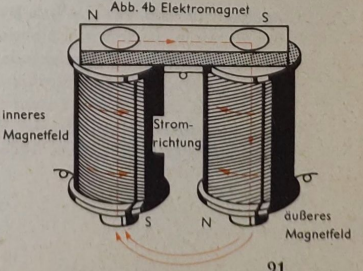


Abb. 4b Elektromagnet

ELEKTRODYNAMIK II

Die Vorgänge bei der Elektrizitätsströmung in metallischen Leitern lassen sich mit Hilfe der Wechselwirkung der elektrischen Elementarladung des Elektrons mit den Atomen der Metalle erklären. Man nimmt an, daß das Elektron kugelförmige Gestalt besitzt. Als Beispiel für den metallischen Leiter soll Kupfer gewählt werden, das praktisch den am meisten verwendeten Elektrizitätsleiter darstellt. Kupfer besitzt eine kristalline Struktur (Abb. 1); der Atomkern des Kupfers trägt 29 positive Elementarladungen, die von 29 negativ geladenen Elektronen neutralisiert werden. Das 29. Elektron ist nur ganz locker an den Atomkern gebunden. Da bereits bei Zimmertemperatur die Wärmeenergie groß genug ist, um die Kupferatome Schwingungen um ihre Ruhelage im Kristallgitter ausführen zu lassen, werden dabei diese locker gebundenen Elektronen gewissermaßen abgeschüttelt und stehen als freie negative Ladungsträger für die Elektrizitätsleitung zur Verfügung. Sie sind *quasi-frei*, d.h., sie werden hin und wieder eingefangen, aber auch wieder freigemacht. Sie verhalten sich im Kristallgitter wie ein Gas in einem Behälter; man spricht daher auch vom „Elektronengas" (Abb. 2). Beim Anlegen einer Spannung bewegen sich die Elektronen vom negativen zum positiven Pol (Abb. 3). Der Elektronenstrom verläuft entgegen der als positive Stromrichtung definierten Strömung positiver Ladungsträger; dies ist stets zu beachten. Das Verhalten eines Elektronenstroms im Magnetfeld zeigt Abb. 4. Dort ist angenommen, daß ein einzelnes Elektron (etwa glühelektrisch im Vakuum ausgelöst) ein konstantes Magnetfeld durchquert. Die Überlagerung dieses Feldes mit dem des Elektrons führt unter den gezeichneten Verhältnissen oberhalb der Elektronenbahn zu einer Vergrößerung, unterhalb zu einer Verringerung der magnetischen Feldstärke. Dieses Feldstärkegefälle führt zu einer Krümmung der Elektronenbahn. Innerhalb eines Metalles tritt dadurch eine Spannungsdifferenz zwischen oberer und unterer Kante auf (Abb. 5). Man bezeichnet diese Erscheinung nach ihrem Entdecker als Hall-Effekt.

Mittels der Elektronentheorie der metallischen Leitfähigkeit ergibt sich auch eine anschauliche Erklärung der *Induktion*. Man versteht darunter das Auftreten elektrischer Spannungen und Ströme durch mechanische Bewegungen von Leitern im Magnetfeld. Nach Abb. 6 stellen wir uns ein Metallstück als einen mit Elektronengas gefüllten Behälter vor, den wir durch ein konstantes Magnetfeld bewegen. Dabei wird sich nach der Abb. die Elektronenkonzentration am unteren Ende gegenüber der am oberen erhöhen und damit eine Induktionsspannungsdifferenz mit dem negativen Wert am unteren Ende auftreten, weil die Elektronen – mechanisch mit der Geschwindigkeit v bewegt – nach unten gekrümmte Bahnen einschlagen. Verbindet man die Enden des Metallstückes durch eine Leiterschleife, die weit außerhalb des Magnetfeldes verläuft, so fließt in dieser – solange der Leiter durch das Magnetfeld bewegt wird – ein Induktionsstrom. Er fließt, solange sich der magnetische Fluß durch die Fläche der Stromschleife ändert. Man kann den Magnetfluß durch Änderung der durchflossenen Fläche (Anwendung beim elektrischen Generator) oder durch Änderung der magnetischen Feldstärke variieren (s. Transformator S. 122). Die prinzipielle Wirkungsweise des elektrischen *Generators* veranschaulicht Abb. 7a: Die vom konstanten Magnetfeld durchflossene Fläche der rotierenden Stromschleife ändert sich periodisch von 0 bis zu ihrem vollen Wert. Es entsteht eine Elektrizitätsströmung wechselnder Richtung, ein *Wechselstrom*, der über Schleifringe (Abb. 7b) einem äußeren Stromkreis zugeführt wird. Eine Gleichrichtung, d.h. eine Umformung in einen (pulsierenden) *Gleichstrom*, kann mittels eines in Lamellen (Abb. 7c) aufgeteilten Kollektors erfolgen. Primär wird demnach in einem praktisch verwendeten elektrischen Generator stets Wechselstrom erzeugt (vgl. S. 94, S. 98).

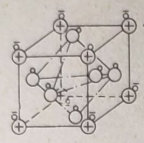


Abb. 1 Kristallstruktur des Kupfers

Abb. 4 Elektron im Magnetfeld

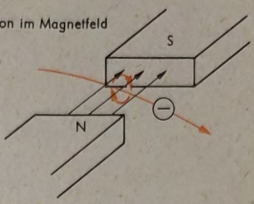


Abb. 2 Elektronengas

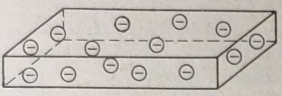


Abb. 5 Hall-Effekt

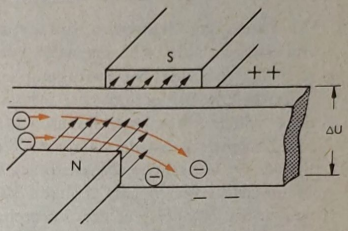


Abb. 3 Elektronenströmung

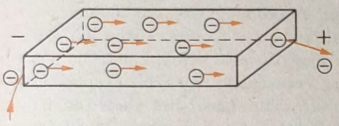
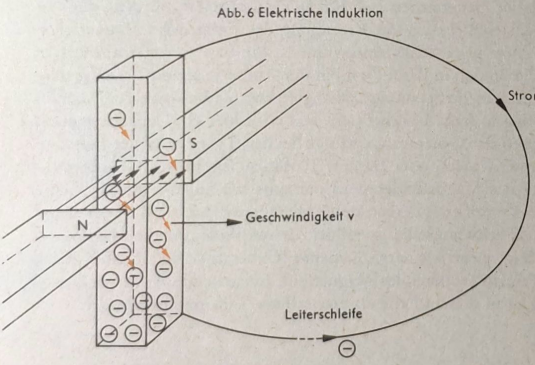


Abb. 6 Elektrische Induktion



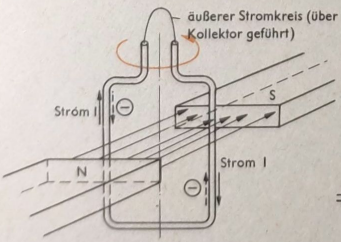


Abb. 7a Elektrischer Generator (Dynamo)

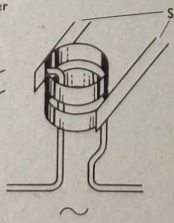


Abb. 7b Schleifringkollektor (Wechselstrom)

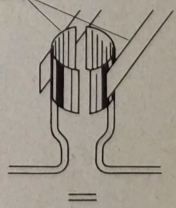


Abb. 7c Lamellenkollektor (Gleichstrom)

ELEKTRISCHER GENERATOR (DYNAMO)

Die Erzeugung elektrischer Energie in großem Maßstab geschieht mittels elektrischer Generatoren. Ihre Wirkungsweise beruht auf dem Prinzip der elektrischen Induktion (s. S. 92), d. h. auf der Erzeugung einer periodischen Elektrizitätsbewegung in einer Leiterschleife bei periodischer Änderung des Flusses magnetischer Feldlinien durch diese Schleife. Man kann dies erreichen, wenn man entweder die Leiterschleifen (Wicklung) in einem konstanten Magnetfeld rotieren läßt (Rotor = Läufer = Anker; Stator = Ständer = feststehende Magnetpole), oder die Ankerwicklung feststehen und dafür das Magnetfeld rotieren läßt (Polrad). Bei der letzteren Anordnung sind die Induktionsspulen des Ständers auf der Innenseite eines Eisenringes so angeordnet, daß die Feldmagnetpole die Wicklungen in sehr geringem Abstand passieren (Abb. 1 und 3). Die Wechselstromspannung wird dann unmittelbar unter Vermeidung von Schleifkontakten (Bürsten) vom Stator abgenommen. Damit eignet sich diese Bauart besonders für die Erzeugung hoher Wechselspannungen, da Schleifkontakte durch die Funkenbildung bei den hohen Spannungen großer Generatoren (rd. 20000 Volt) zerstört werden; die verhältnismäßig niedrige Gleichstromleistung zur Erzeugung des rotierenden Magnetfeldes des Polrades wird dem Rotor über Schleifringe und Kohle bzw. Kupfernetzbürsten zugeführt (vgl. Abb. 3). Die Spulen in Abb. 1 sind in der Aufeinanderfolge stets gegensinnig gewickelt, damit die induzierte Spannung gleichgerichtet bleibt. Auch der Fahrraddynamo ist nach dem Schema in Abb. 1 konstruiert, nur wird hier ein Dauermagnet als Rotor verwendet. Der Antrieb der Generatoren erfolgt bei den Typen höchster Leistung durch koaxiale Kopplung mit (Wasser- oder Dampf-)Turbinen. Ein kleiner Gleichstromdynamo für die Erzeugung des Magnetfeldes wird meistens mit auf die gleiche Achse gesetzt (Abb. 2). In älteren Dampfkraftwerken mit Kolbenmaschinen wird in der Regel der Rotor des Generators als Schwungrad ausgebildet, dessen Radkranz die Magnetpolwicklungen trägt. Abb. 3 zeigt einen kleineren Dynamo (Generator), der ebenfalls nach dem oben beschriebenen Prinzip (rotierendes Magnetfeld, feststehende Ankerwicklung) konstruiert ist. Das Polrad ist in diesem Falle als zweiteiliger T-Rotor ausgebildet.

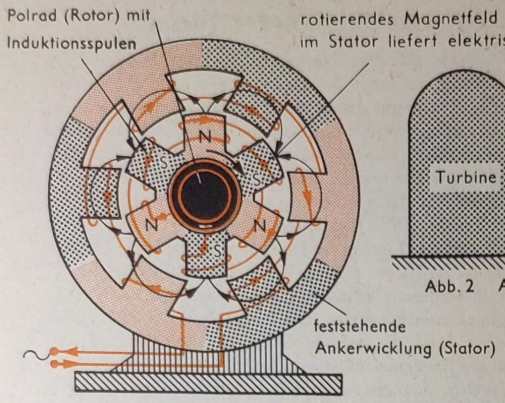


Abb. 1 Wechselstromgenerator schematisch (Innenpolmaschine)

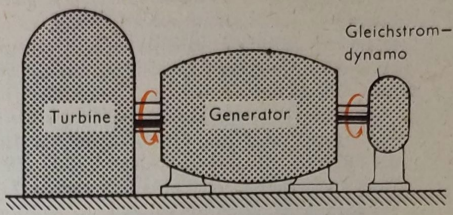


Abb. 2 Aufbau einer Generatoranlage

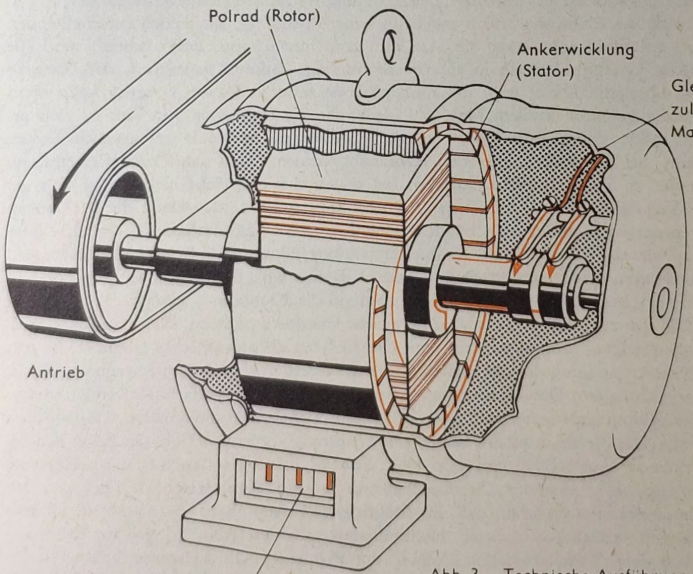


Abb. 3 Technische Ausführung eines Generators (Innenpolmaschine) für hohe Spannungen

BATTERIE, AKKUMULATOR (GLEICHSTROM)

Taucht man zwei verschiedene Metalle in eine den elektrischen Strom leitende wäßrige Lösung (z. B. verdünnte Schwefelsäure), so haben sie eine unterschiedliche Tendenz, in Lösung zu gehen; dabei laden sie sich verschieden elektrisch auf. Aufgrund dieses chemischen Vorganges tritt eine Spannungsdifferenz auf, weil das eine Metall gegenüber dem anderen negativ oder positiv erscheint. Es läßt sich daher nach Volta eine Spannungsreihe der Metalle aufstellen, in der das jeweils vorhergehende Metall (bzw. der elektrische Leiter) beim Eintauchen in eine wäßrige Lösung stets positiver erscheint als das folgende: Kohle, Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Eisen, Zink.

Eine Kombination zweier Metalle in wäßriger Lösung zur Erzeugung elektrischer Energie aus chemischer nennt man ein galvanisches Element. Beim Voltaschen Element (Abb. 1) tauchen Kupfer (+) und Zink (—) in verdünnte Schwefelsäure. Schließt man an die Pole z. B. eine Glühlampe an, so fließt ein elektrischer Strom. Der Stromkreis, der außen über die Glühlampe läuft, wird im Innern durch die leitende Flüssigkeit, den Elektrolyten, geschlossen. Der Strom im Inneren des Elementes führt zum Auftreten von Gasschichten an den Elektroden (Polarisation), welche den inneren Widerstand erhöhen und dadurch die chemisch erzeugte elektrische Spannung und damit die Stromausbeute herabsetzen. Insbesondere ist es der am Pluspol (Anode) entstehende Wasserstoff, der unschädlich gemacht werden muß. Dies geschieht beim Salmiakelement (Abb. 2) mittels eines Gemisches aus Braunstein (Manganoxid) und Graphit als Depolarisatoren, das in einem Leinwandbeutel die Kohleanode umgibt. Ein solches Element wird gegenwärtig noch in Klingelanlagen gelegentlich verwendet. Es besteht aus einer Kohleanode mit Depolarisator, einem Minuspol (Kathode) aus Zink und einer wäßrigen Salmiak-(Ammoniumchlorid-)Lösung als Elektrolyt. Die Spannung des Salmiakelementes liegt bei 1,3 Volt. Die Größe des Elementes ändert nichts an seiner Spannung, hat jedoch entscheidenden Einfluß auf die Stromstärke, die man ihm entnehmen kann. Beim Betrieb wird die chemische Energie, die sich in elektrische umsetzt, dadurch gewonnen, daß Zink in Lösung übergeht. Daher wird die Zinkelektrode zersetzt. Dieser Vorgang kann nicht rückgängig gemacht werden. Man muß daher die Zinkelektrode von Zeit zu Zeit erneuern. Auch der Depolarisator verbraucht sich und erfordert gelegentlich Ersatz. Elemente, bei denen die Elektroden verbraucht werden, nennt man Primärelemente, im Gegensatz zu den Sekundärelementen, bei denen durch Zufuhr elektrischer Energie (Aufladen) der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt werden kann, die Elektroden also regeneriert werden. Man nennt solche Elemente Akkumulatoren. Üblicherweise bestehen sie aus Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure (Abb. 3 u. 4). Es bildet sich auf den Platten eine Bleisulfatschicht. Beim Aufladen wird die Schicht auf der Anodenplatte in braunes Bleidioxid verwandelt, während die Kathode zu grauem Blei reduziert wird. Die elektrische Energie wird in chemische Energie umgesetzt. Blei- und Bleidioxidelektroden wirken zusammen mit dem Elektrolyten als galvanisches Element. Es tritt eine Rückumwandlung der gespeicherten (akkumulierten) chemischen Energie in elektrische ein (Entladen). Der Akkumulator wird in der Technik vielfach verwendet. Außer dem Bleiakkumulator kennt man noch den Eisen-Nickel-Akkumulator mit Kalilauge als Elektrolyt. Der Bleiakkumulator besitzt eine Spannung von etwa 2 Volt, der Eisen-Nickel-Akkumulator eine solche von 1,36 Volt. Sowohl Primär- als auch Sekundärelemente werden auch als sogenannte „Trockenelemente" gebaut. Sie unterscheiden sich von den oben beschriebenen dadurch, daß der Elektrolyt zu einer Paste eingedickt ist. Höhere Spannungen erreicht man durch Hintereinanderschalten (Abb. 5), größere Stromergiebigkeit durch Parallelschalten (Abb. 6) der Elemente. Alle Elemente liefern Gleichstrom, d. h. einen elektrischen Strom, der konstant in der gleichen Richtung fließt (im Gegensatz zum Wechselstrom; s. S. 92).

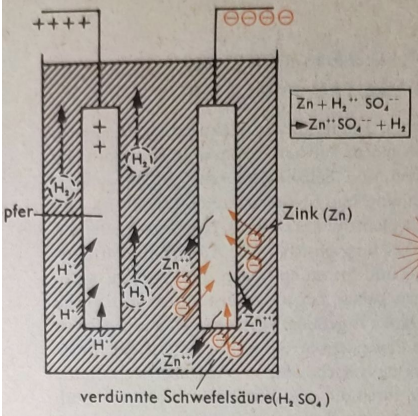


Abb. 1 Voltasches Element

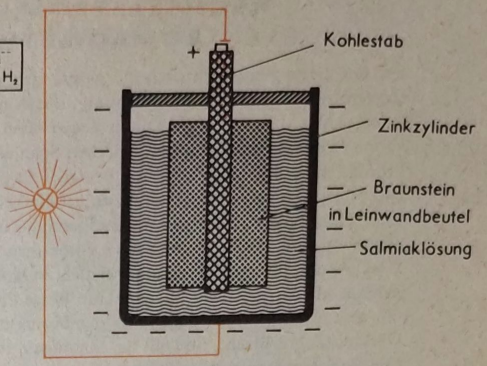


Abb. 2 Salmiakelement

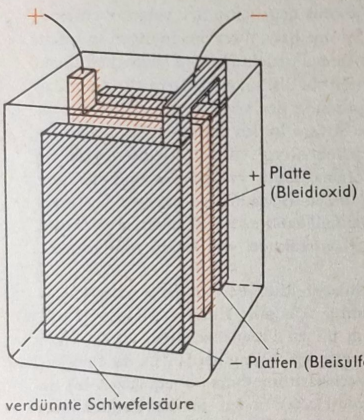


Abb. 3 Akkumulator (Prinzip)

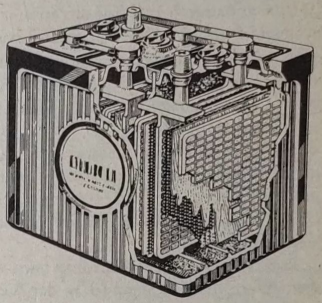


Abb. 4 Technische Ausführungsform eines Akkumulators (Autobatterie)

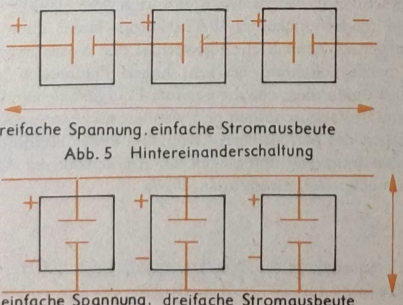


Abb. 5 Hintereinanderschaltung

einfache Spannung, dreifache Stromausbeute

Abb. 6 Parallelschaltung

WECHSELSTROM, DREHSTROM, ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN I

Bei der Erzeugung elektrischer Energie durch Induktion im elektrischen Generator entsteht primär eine Wechselspannung, die in einem äußeren Stromkreis Wechselstrom liefert (Abb. 1a; s. S. 94). Durch Kapazitäten und Selbstinduktionen im Stromkreis können Phasenverschiebungen zwischen Spannung und Strom auftreten (Abb. 1b). Das Produkt aus Spannung und Strom ist dabei die elektrische Leistung. Dort, wo Spannung und Strom gleiches Vorzeichen haben, ist die Leistung positiv (Abb. 1a): Beim Auftreten einer Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom entstehen immer dann, wenn Spannung und Strom verschiedene Vorzeichen haben, negative Leistungen, so daß die Wirkleistung (nutzbare Leistung) bei nicht in Phase liegendem Strom wegen der negativen Anteile kleiner ist (Abb. 1b) als bei in Phase liegendem Strom (Abb. 1a). Ist der Strom um eine Viertelperiode gegenüber der Spannung verschoben, so wird überhaupt keine Wirkleistung erbracht, obwohl die Leitungen durch die sog. Blindströme belastet sind. Die Verschlechterung der Leistung bei phasenverschobenen Strömen drückt man durch den Leistungsfaktor $\cos \varphi$ aus (elektrische Leistung $N = U \cdot I \cdot \cos \varphi$).

Drei Wechselströme, die in der Phase um 120° jeweils gegeneinander verschoben sind, zeichnen sich dadurch aus, daß die Summe ihrer Ströme bzw. ihrer Spannungen in jedem Zeitmoment Null ist (Abb. 2a). Man braucht zu ihrer Fortleitung statt sechs Leitungen nur deren drei, wenn man sie entweder im Stern (Abb. 2b) oder im Dreieck (Abb. 2c) verkettet. Bei entsprechender geometrischer Anordnung der von einem solchen Strom gespeisten Elektromagnete (Abb. 2d) nehmen die Ströme in den einzelnen Spulen(Elektromagneten) nacheinander um 120° phasenverschoben (vgl. Abb. 2a) ihren größten Wert an, so daß sich in ihnen ein mit dem Strommaximum wanderndes und dadurch drehendes Magnetfeld aufbaut (daher nennt man diesen dreifachen verketteten Wechselstrom „Drehstrom"). In diesem magnetischen Drehfeld kann man z. B. einen geschlossenen Käfiganker sich drehen lassen, so daß die Konstruktion von Drehstrommotoren äußerst einfach ist.

Man unterscheidet Wechselströme nach der Zeitdauer ihrer Periode bzw. deren reziprokem Wert, der Frequenz (d. h. der Wechselzahl je Sekunde; Einheit: 1 Hertz [Hz]). Man spricht von niederfrequentem Wechselstrom bis zu Frequenzen von 20000 Hz*. Der gebräuchliche Wechselstrom im Netz der Energieversorgung hat 50 Hz, die Bundesbahn verwendet Wechselstrom von $16\,^2/_3$ Hz. Wechselströme hoher Frequenzen bis zu einigen GHz (Gigahertz $\equiv 10^9$ Hz $\equiv$ 1 Milliarde Hertz) finden in der Nachrichtentechnik und dort speziell in der Funktechnik Verwendung. Dies hat seine Ursache darin, daß ein Wechselstrom ein mit seiner Frequenz schwankendes Magnetfeld erzeugt und selbst von einem hochfrequenten elektrischen Feld erzeugt wird. Dieses *elektromagnetische Feld* wandert mit Lichtgeschwindigkeit in den Raum, d. h. mit 300000 km je Sekunde (bzw. $3 \cdot 10^{10}$ cm/s). Bei niederfrequentem Wechselstrom findet diese in den Raum gewanderte Energie Zeit genug, beim Richtungswechsel des Wechselstromes wieder in den elektrischen Leiter zurückzukehren; bei sehr hohen Frequenzen jedoch hat der Richtungswechsel schon stattgefunden, ehe die gesamte Energie aus dem Raume zurückgekehrt ist. Ein Teil bleibt also abgeschnitten und wandert als *elektromagnetische Strahlung* in den Raum hinaus. Wegen des periodischen Charakters dieser Strahlung spricht man von einer *elektromagnetischen Schwingung* und wegen der Ähnlichkeit der Ausbreitung mit der einer Wasserwelle von einer *elektromagnetischen Welle*.

* Übliche Einteilung der Frequenzbereiche: Niederfrequenz bis 20000 Hz, Mittelfrequenz bis 300000 Hz, Hochfrequenz bis 3000 MHz, darüber Höchstfrequenz.

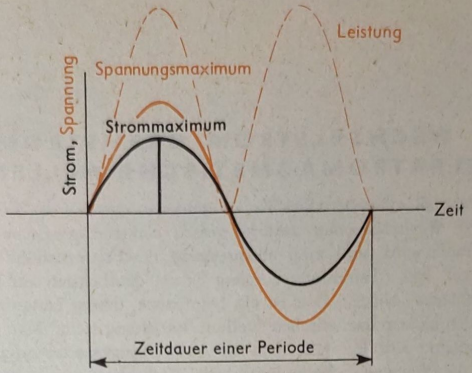


Abb. 1a Zeitlicher Verlauf eines Wechselstromes

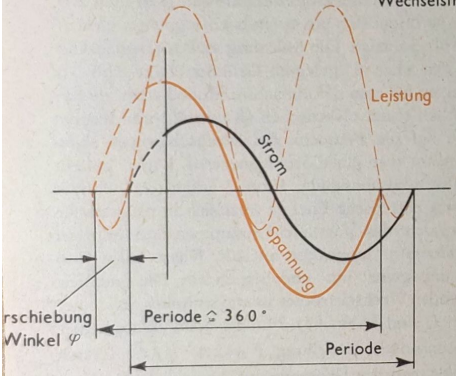
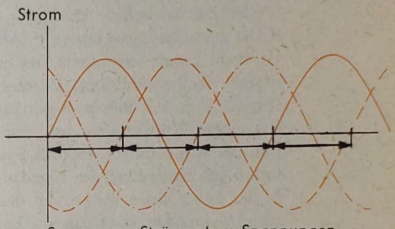


Abb. 1b Zeitliche Verschiebung von Strom und Spannung



Summe von Strömen bzw. Spannungen stets Null

Abb. 2a Verkettung dreier Wechselströme

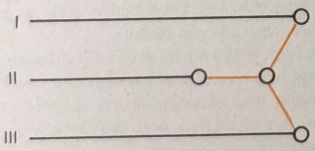


Abb. 2b Sternschaltung

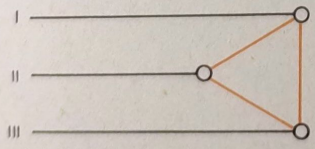


Abb. 2c Dreieckschaltung

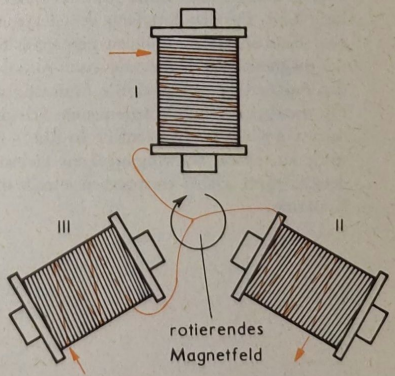


Abb. 2d

WECHSELSTROM, DREHSTROM, ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN II

Die Entstehung elektromagnetischer Wellen geht also stets auf das Vorhandensein eines hochfrequenten Wechselstromes zurück, dessen elektromagnetische Energie in den Raum abgestrahlt wird (und zwar entsprechend der Frequenzhöhe des erzeugenden Wechselstromes). Der Abstrahlungsvorgang ist am deutlichsten am Hertzschen Dipol zu veranschaulichen (Abb. 3). Dies ist ein Leiterstück, dessen Länge zur Periodenlänge der entstehenden elektromagnetischen Welle in Beziehung steht. Man erhält diese auch *Wellenlänge* genannte Größe, wenn man die Ausbreitungsgeschwindigkeit (Weg je Sekunde) durch die Frequenz (Schwingungs- bzw. Wechselzahl je Sekunde) dividiert. Wird dieses Leiterstück von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossen (den man z. B. durch Induktion in ihm erzeugen kann), so bildet sich um es ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld aus, wie es Abb. 3a zeigt. Die Ablösung elektromagnetischer Wellen im kritischen Abstand r_k aus den oben dargelegten Gründen zeigt Abb. 3b. Erdet man den Dipol einseitig (Abb. 3c), so hat man das einfachste Modell einer *Antenne* vor sich. Einen Stromkreis, der hinsichtlich seiner elektrischen (Kapazität) und magnetischen (Selbstinduktion) Eigenschaften auf die Frequenz des Wechselstromes abgestimmt, d. h. mit ihm in Resonanz ist, nennt man einen *Schwingungskreis*. Dieser besteht aus einem Kondensator und einer Selbstinduktionsspule. Einmal aufgeladen, entlädt sich der Kondensator über die Spule, seine elektrische Energie setzt sich in magnetische um. Nach Entladung des Kondensators bricht das Magnetfeld zusammen und induziert in der Spule einen Strom, der den Kondensator umgekehrt auflädt. Wären keine Verluste vorhanden, so würde die Ladung unbegrenzt hin- und herpendeln. Die Frequenz dieser Pendelung und damit des entstehenden Wechselstromes ist um so höher, je kleiner die Kapazität C und die Selbstinduktion L sind (Abb. 4a). Für die Schwingungsdauer T (Zeitdauer einer Periode) gilt die Thomsonsche Gleichung $T = 2\pi \cdot \sqrt{LC}$. – Durch Öffnen des Kondensators (Abb. 4b) erhält man den Übergang zur Antenne (Abb. 4c u. 4d). In diesen Fällen nützt man das elektrische Feld des Kondensators für die Abstrahlung bzw. für den Empfang der elektromagnetischen Energie in Gestalt von Wellen aus. Eine auf einen Rahmen gespannte Spule (Peilrahmen) kann man zum Empfang des magnetischen Feldanteiles nach Abb. 3c benutzen (Abb. 4e). Beim Peilen dreht man den Rahmen so, daß maximale Änderung des magnetischen Flusses eintritt.

Für die Erzeugung höchstfrequenter Schwingungen (vgl. S. 106 ff.) ist der Hohlraumresonator ein wichtiges Bauelement. In Abb. 4f ist gezeigt, wie man sich einen Hohlraumresonator aus einem Schwingungskreis kleinster Kapazität und Selbstinduktion entstanden denken kann. Dabei entsprechen jeweils die Mäntel der Induktion und die Deckel der Kapazität.

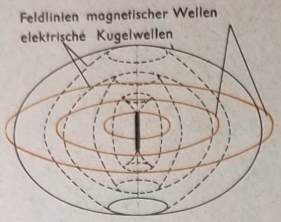


Abb 3a Kugelwellensystem um den Hertzschen Dipol

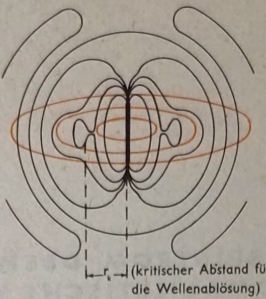


Abb. 3b Wellenablösung

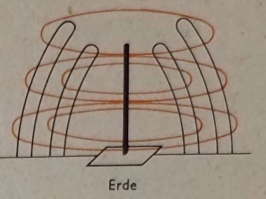


Abb. 3c Einseitig geerdeter Dipol (Antenne)

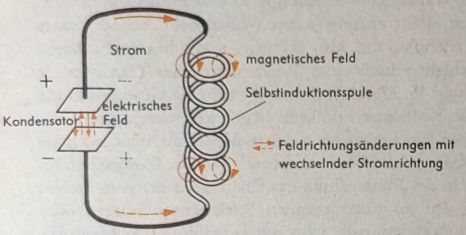


Abb. 4a Geschlossener Schwingungskreis

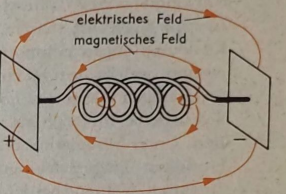


Abb. 4b Offener Schwingungskreis

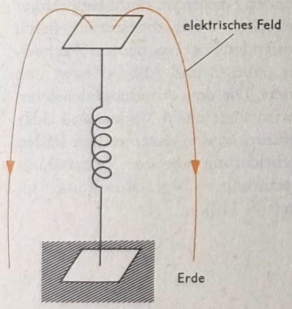


Abb. 4c Antenne

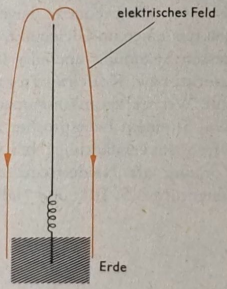
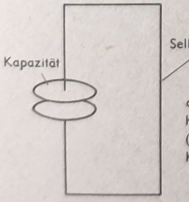
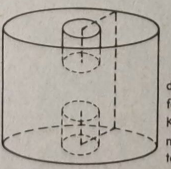


Abb. 4d Antenne

Abb. 4e Peilrahmen



durch Rotation entsteht Hohlraum mit Zapfen (maßgebend für die Kapazität)



durch Fortfall der Zapfen (Verkleinerung der Kapazität) entsteht reiner Hohlraumresonator

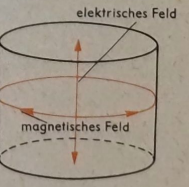


Abb. 4f Hohlraum als Resonator

WECHSELSTROM, DREHSTROM, ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN III (SENDER, EMPFÄNGER)

Schwingungskreise dienen als Abstimmungsorgane, in Gestalt von Antennen als Sende- und Empfangsvorrichtungen für elektromagnetische Energie in den Funksendern bzw. Empfängern. Da die Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen beim Sender dessen Schwingungskreis laufend Energie entzieht, ihn also dämpft, muß ihm fortwährend Energie zugeführt werden. Dies geschieht mittels einer Triode oder eines Transistors in Rückkopplungsschaltung (Abb. 1, 2 und 6). Durch Induktion wird eine Gitterspannung erzeugt, welche dem im Anoden- bzw. Kollektorstromkreis liegenden Schwingungskreis im richtigen Gleichtakt hochfrequenten Wechselstrom zuführt. Mit Hilfe eines geeignet geschalteten Mikrophons wird die abgestrahlte Welle amplituden- bzw. frequenzmoduliert. Unter Modulation versteht man in der Funktechnik das Überlagern der vom Sender erzeugten Trägerschwingungen mit den zu übertragenden Stromschwankungen oder Impulsen. Während bei der Amplitudenmodulation die Schwingungsweite der hochfrequenten Trägerschwingungen beeinflußt wird, ändert sich bei der Frequenzmodulation die Frequenz der Trägerschwingungen im Takt der zu übertragenden Nachricht. Beim Empfänger wird der Schwingungskreis auf die Frequenz der eintreffenden Welle abgestimmt, deren Energie im Schwingungskreis einen im Gleichtakt verlaufenden hochfrequenten Wechselstrom entstehen läßt, dessen Spannung über das Gitter (Abb. 3 und Abb. 4) bzw. den Emitter (Abb. 5) den Anoden bzw. Kollektorstrom steuert. Die dem Anodengleichstrom überlagerte hochfrequente Wechselstromkomponente wird über einen Widerstand oder Übertrager (Abb. 3, 4 und 5) einem Lautsprecher zugeführt. In den dargestellten Fällen spricht man von Hochfrequenzverstärkung; bei Gleichrichtung vor der Verstärkung bezeichnet man den Vorgang als Niederfrequenzverstärkung. – Vgl. Rundfunkempfänger (S. 114), Elektronenröhre (S. 104) und Halbleiter (S. 112).

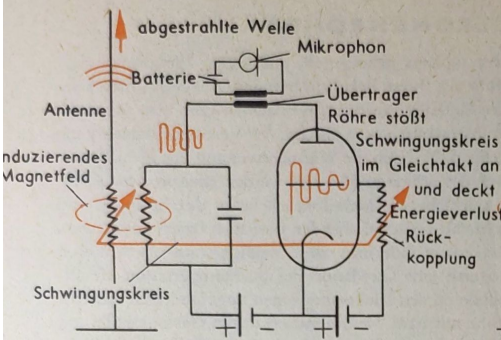


Abb. 1 Röhrensender (Amplituden-modulation)

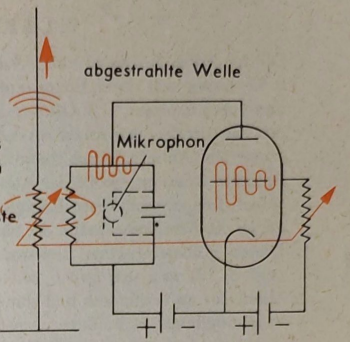


Abb. 2 Röhrensender (Frequenz-modulation)

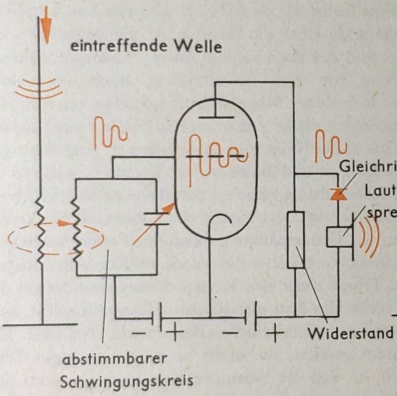


Abb. 3 Röhrenempfänger (Amplitudenmodulation)

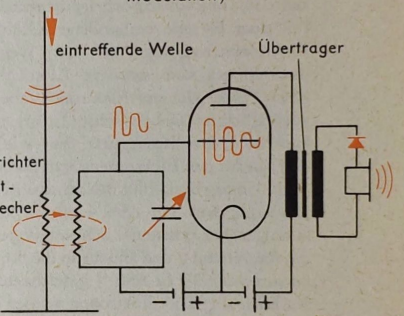


Abb. 4 Röhrenempfänger mit Übertrager

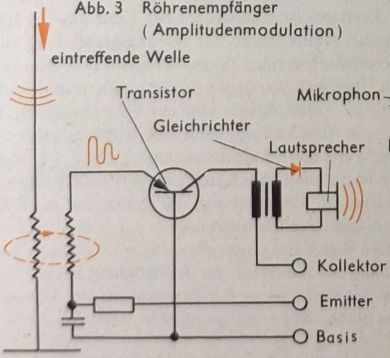


Abb. 5 Transistorempfänger

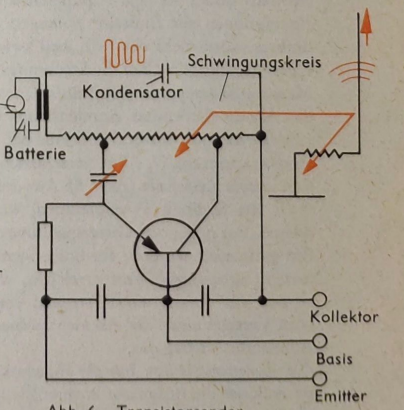


Abb. 6 Transistorsender

ELEKTRONENRÖHRE

Die im Käfig des metallischen Kristallgitters gefangenen, quasifreien Elektronen (vgl. S. 92) lassen sich durch Energiezufuhr aus ihrem Behältnis befreien. Am einfachsten kann dies durch Erhitzen, z. B. Glühen des Metalles erfolgen. Im einzelnen kann man sich dabei den Austritt der Elektronen aus dem Metall am besten als eine Art Verdampfungsvorgang vorstellen (Abb. 1). Durch thermische, d. h. durch die Wärmebewegung der Metallatome bedingte Zusammenstöße der Atome des erhitzten Metalles werden energiereiche Elektronen freigemacht, deren Energie ausreicht, die Metalloberfläche zu durchdringen und gegen die Anziehungskräfte der im Metall zurückbleibenden positiven Ionen anzulaufen. Diesen glühelektrischen Emissionsvorgang läßt man zweckmäßigerweise im Vakuum (vgl. S. 12) vor sich gehen, um einmal eine Oxydation der hochtemperierten Metalloberfläche zu verhindern und zum anderen den Elektronen einen ungehinderten Austritt zu ermöglichen, d. h. Zusammenstöße mit bzw. Neutralisation durch Gasmoleküle und -ionen der Luft zu vermeiden. Eine Vorrichtung, die diese Bedingung erfüllt, ist die Elektronenröhre, die auf jeden Fall zwei Elektroden enthalten muß, aber auch noch zusätzliche Elektroden zur Beeinflussung des in ihr fließenden Stromes freier Elektronen erhalten kann. Die einfachste Form ist demnach die Röhrendiode (Abb. 2). Der mit dem negativen Pol einer Batterie verbundenen Glühkathode steht die positive Anode gegenüber, die Elektronen wegsaugt. Auf ihrem Wege von der Kathode zur Anode bilden sie während ihres Fluges eine negative Raumladung, die einer Beeinflussung durch die elektrischen Felder weiterer Elektroden (aber auch durch Magnetfelder, vgl. Magnetron S. 106) zugänglich ist. Die einfachste Elektronenröhre dieser Art ist eine solche mit einer dritten Elektrode, dem Steuergitter, das – wie schon der Name sagt – durch seinen gitterförmigen Aufbau für den Elektronenstrom durchlässig ist und ihn zu steuern gestattet, indem es die Raumladung beeinflußt. Im Schema ist die Schaltung einer solchen Röhrentriode in Abb. 3 wiedergegeben. Die Abb. 4 läßt im einzelnen die Einwirkung des Gitters auf die Raumladung näher erkennen. Schwankungen der Gitterspannung verdünnen oder verdichten die Raumladung und ändern so die Stromdichte des über die Anode abfließenden Elektronenstromes. Die in Abb. 4 gezeichnete Triode weist eine Konstruktionsbesonderheit der Kathode auf: Die Elektronen werden nicht von dem metallischen Heizdraht selbst, sondern von einer durch ihn (indirekt) erhitzten Oxidschicht (Bariumoxid) emittiert. Die Oxidkathode bietet zwei Vorteile: Erstens emittiert sie bereits bei relativ niedriger Temperatur (schwache Rotglut) Elektronen, so daß die Wärmeverluste geringer sind, und zweitens bildet sie eine Äquipotentialfläche, so daß alle Elektronen unter den gleichen Bedingungen zur Emission gelangen. Letzteres ist nämlich bei der Emission des Heizdrahtes selbst nicht der Fall, weil zwischen seinen Enden der Spannungsabfall der Heizspannung besteht. Über die Steuerungsverhältnisse einer Triode verschafft man sich durch Messung sogenannter Kennlinien einen Überblick. Zu diesem Zweck mißt man den über die Anode fließenden Anodenstrom I_a in Abhängigkeit von der Gitterspannung U_g (welche man am Gitter der Triode bei $\pm$ in Abb. 3 anlegt) bei jeweils konstant gehaltener Anodenspannung U_a. Für verschiedene Werte der Anodenspannung U_{a1}, U_{a2}, U_{a3} ergibt sich je eine Kennlinie (Abb. 5). Aus der Kennlinienschar lassen sich gewisse Kenngrößen (z. B. die Steilheit S) entnehmen, welche zur Beschreibung des Verhaltens der Röhre dienen. Bei negativen Gitterspannungen kann der Elektronenstrom bis zum Verschwinden gedrosselt werden; für hohe positive Werte der Gitterspannung muß er einen maximalen (Sättigungs-) Wert erreichen, wenn das Reservoir der Raumladung ausgeschöpft ist und alle emittierten Elektronen von der Kathode zur Anode gelangen. Der Übergang vom Verschwinden des Anodenstromes bis zu seinem Sättigungswert stellt sich als nahezu linearer Anstieg dar.

Die Elektronenröhre hat die Eigenschaft der unipolaren Leitfähigkeit, der Elektronenstrom kann die Röhre nur in einer Richtung von der (heißen) Kathode zur (kalten) Anode passieren. Man kann daher Elektronenröhren auch als Gleichrichter verwenden (s. S. 110).

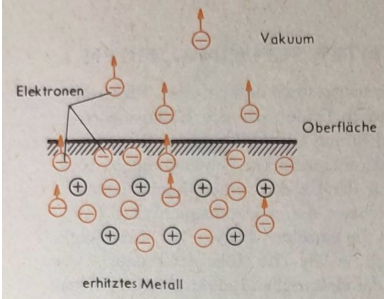


Abb. 1 Austritt von Elektronen aus erhitztem Metall

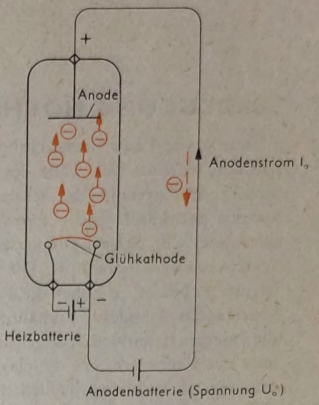


Abb. 2 Diode

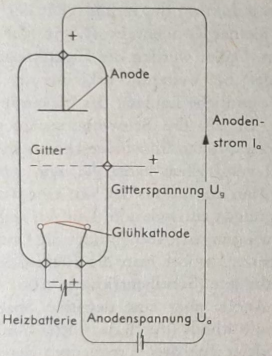


Abb. 3 Triode

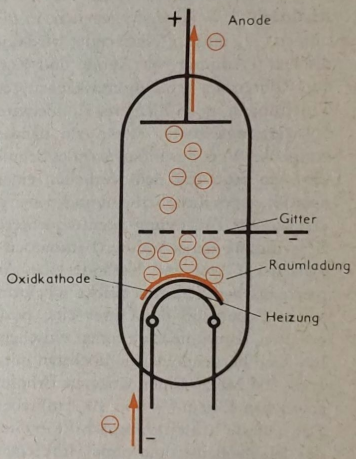


Abb. 4 Einwirkung des Gitters auf die Raumladung

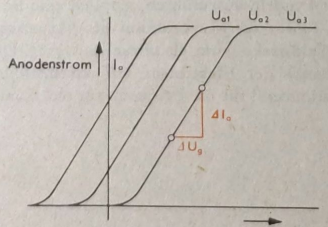


Abb. 5 Triodenkennlinie
Steilheit $S = \Delta I_a / \Delta U_g$

ERZEUGUNG HÖCHSTFREQUENTER SCHWINGUNGEN I

Schwankt die Elektronendichte oder die Elektronengeschwindigkeit eines Elektronenstromes, so lösen sich Teile des elektromagnetischen Feldes, das den Elektronenstrom umgibt, im Rhythmus der Schwankungen ab und führen – vor allem wenn die Schwankungen periodisch sind – zur Abstrahlung elektromagnetischer Schwingungen. Elektromagnetische Schwingungen sind also stets mit der Existenz eines [hoch]frequenten Wechselstromes verknüpft. Die Ablösungsmöglichkeit des elektromagnetischen Feldes ist um so besser, je höher die Frequenz ist, weil die einzelnen Phasen bei ihrer Rückkehr bereits geänderte Verhältnisse vorfinden (vgl. S. 98). Die Höhe der Frequenz des die Energie liefernden Wechselstroms hängt von der elektrischen Induktivität und Kapazität des Kreises ab, der die elektromagnetische Energie erzeugt und abgibt. Hohe Frequenzen, d. h. kleine Wellenlängen, wird man also zunächst durch Verkleinerung der Selbstinduktion und Kapazität der Schwingungskreise und apparativen Anordnungen erhalten, die die periodischen Schwankungen von Elektronendichte und Elektronengeschwindigkeit hervorrufen (Abb. 1 und 2). In Abb. 2 ist die sogenannte Dreipunktschaltung (1–2–3) wiedergegeben, in der als Selbstinduktion die Induktivität der Zuleitungen (L_A und L_G) verwendet wird und ein sehr kleiner Kondensator (C) nur der galvanischen Trennung von Anode und Kathode dient. Dabei werden die Eigenkapazitäten der Röhren als Schwingkreiskapazitäten verwendet. Bei weiterer Verkleinerung (kurze Zuleitungen, noch kleinerer Kondensator) stört die endliche Laufzeit der Elektronen den Schwingungseinsatz. Wenn sie nämlich größer ist als die Schwingungsdauer (der reziproke Wert der Frequenz) des Schwingungskreises, treten Phasenverschiebungen auf, die man etwa mit dem Verhalten einer Schaukel vergleichen kann, die man schneller anstößt, als es ihrer Schwingungsdauer entspricht. Man machte aus der Not eine Tugend, als man zur Erzeugung hochfrequenterer Schwingungen entweder die Laufzeit selbst als Schwingungsdauer wählte (Barkhausen-Kurz-Schwingungen; Abb. 3) oder die Laufwege zwischen Gitter und Kathode bzw. Anode verkürzte, wobei man die Elektroden der mechanischen Stabilität halber scheibenförmig ausbildete (Scheibentrioden; Abb. 4). Im ersten Falle muß das Gitter eine positive, die Anode aber eine negative Spannung erhalten, damit die Elektronen zwischen Anode und Kathode (durch das Gitter hindurch) hin- und herpendeln. Die höchsten mit einer Triode erzeugbaren Frequenzen liegen bei etwa 10^4 MHz. Einer weiteren Erhöhung ist mit dem erreichten Gitter-Kathoden-Abstand von 15 μm ($= 15 \cdot 10^{-6}$ m) technologisch eine Grenze gesetzt.

Der nächste Entwicklungsschritt mußte darauf abzielen, die periodischen Schwankungen der Elektronenströme ohne Hilfe eines materiellen Gitters zu erzeugen. Man entsann sich, daß man mittels eines Magnetfeldes einen Elektronenstrom zwingen kann, eine andere periodische Bewegung als das Pendeln auszuführen, nämlich eine Bewegung auf einem Kreis bzw. einer Spirale. Dies führte zur Konstruktion des *Magnetrons*. Das permanente Magnetfeld mit konstanter Feldstärke wirkt als virtuelles Gitter. Die Umlaufsfrequenz (sogenannte Leitbahnfrequenz) der Elektronen auf kreisförmigen Bahnen zwischen Anode und Kathode ist bestimmend für die Frequenz der elektromagnetischen Schwingungen (Abb. 5a–5c).

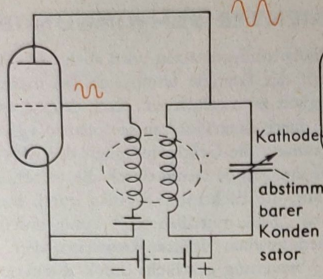


Abb. 1 Induktive Rückkopplungsschaltung (Meißnerschaltung)

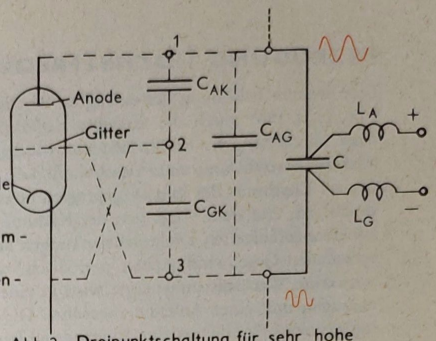


Abb. 2 Dreipunktschaltung für sehr hohe Frequenzen

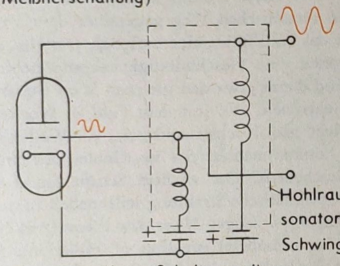


Abb. 3 Barkhausen-Kurz-Schaltung mit Scheibentriode für sehr hohe Frequenzen

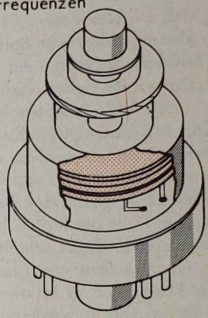


Abb. 4 Scheibentriode für Oszillatoren

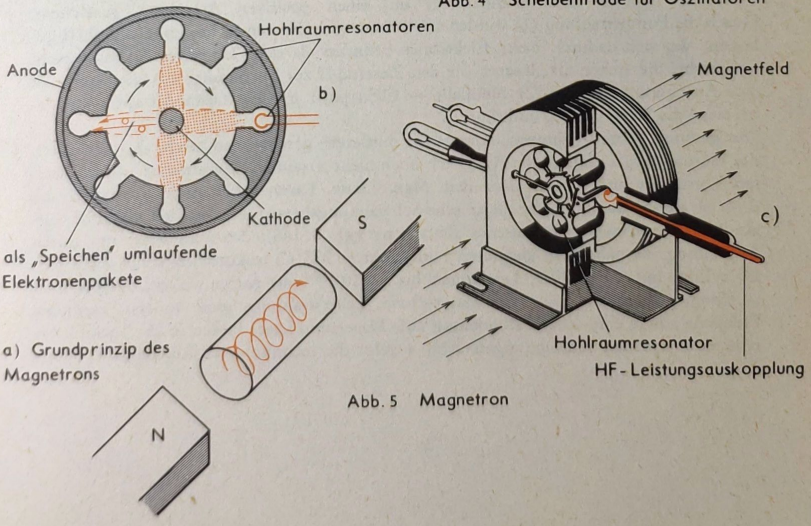


Abb. 5 Magnetron

ERZEUGUNG HÖCHSTFREQUENTER SCHWINGUNGEN II

Eine weitere Erhöhung der erzeugten Wechselstromfrequenzen wird auch beim Magnetron (s. S. 106) durch die erreichte Kleinheit der Bauteile unmöglich. So mußte man dazu übergehen, die Elektronengeschwindigkeit zu modulieren. Nach Abb. 1 tritt ein Elektronenstrahl konstanter Geschwindigkeit durch einen Hohlraumresonator (vgl.S.100), der im Rhythmus der ihm aufgeprägten Spannung die Geschwindigkeit der Elektronen moduliert. Auf dem Wege von der Kathode zur Anode treten durch die verschiedenen Elektronenlaufzeiten Dichteschwankungen auf, die Elektronen werden durch ihre verschiedenen Geschwindigkeiten periodisch zu „Elektronenpaketen" komprimiert. Die verstärkte Wechselstromenergie wird in einem zweiten Hohlraumresonator dem Strahl entzogen und einer Antenne zugeführt. Die Steuerung geschieht durch Rückkopplung mittels eines Hohlleiters zum Eingangshohlraumresonator. Eine solche geschwindigkeitsmodulierte Röhre heißt *Klystron*. In der *Wanderfeldröhre* (Abb. 2) nützt man die Eigenschaft aus, daß ein elektrisches Feld einen metallischen Weg gegenüber dem Vakuum bevorzugt. Hat die metallische Spirale, die das Feld führt, eine Steigung von $^1/_{13}$, so hat dieses in Strömungsrichtung der Elektronen eine Geschwindigkeitskomponente, die $^1/_{13}$ der Lichtgeschwindigkeit ausmacht und damit etwa den gleichen Wert besitzt wie die mit rd. 1500 Volt beschleunigten Elektronen, die mit dem Feld in Wechselwirkung stehen. Mit derartigen Röhren erreicht man Höchstfrequenzen, die Wellenlängen im Millimetergebiet entsprechen. Damit kommt man bereits ins Gebiet der langwelligen Wärmestrahlung, d.h. atomaren Geschehens. Der nächste Schritt mußte daher zu dem Versuch führen, die atomare elektromagnetische Strahlung willkürlich zu steuern. Dies gelingt mit Hilfe der Molekularschwingungserzeuger *Maser* bzw. *Laser* (Abkürzung für *M*icrowave bzw. *L*ight *a*mplification by *s*timulated *e*mission of *r*adiation). Maser und Laser unterscheiden sich durch die Wellenlängenbereiche der emittierten Strahlung; beim Maser sind es Mikrowellen, beim Laser Lichtwellen. Die atomare Funktionsweise ist in Abb. 3 wiedergegeben: Es sind dort drei mögliche Energiezustände I, II, III (stabile Elektronenbahnen) um einen positiven Atomkern gezeichnet. Durch die Pumpstrahlung (1) werden Elektronen vom Zustand I in den Zustand III gehoben, wo sich dadurch mehr Elektronen befinden als dem Temperaturgleichgewicht entspricht. Sie stehen als Reserve für den Zustand II zur Verfügung, aus dem — durch eine Anregungsstrahlung (2) veranlaßt — Elektronen in den Zustand I springen; dabei wird die Strahlung (3) emittiert.

Der gesamte Prozeß (Pumpen, Anregen, Emittieren) geschieht so rasch, daß der durch die Wärmeenergie eintretende Ausgleich noch nicht zustandegekommen ist; daher arbeiten Verstärker und Sender nach dem Maser- bzw. Laserprinzip praktisch rauschfrei, d.h., sie weisen die durch die thermische Schwankungsbewegung der Elektronen hervorgerufenen Störungen (thermisches Rauschen; vgl. S. 148), der man sonst nur durch Abkühlung bis nahe zum absoluten Nullpunkt (– 273°C) beikommen kann, nicht auf. Es gelingt mit ihrer Hilfe, Leistungen bis zu 10^{-28} Watt nachzuweisen. Wegen ihres atomaren Charakters weist die Maser- bzw. Laserstrahlung eine äußerst konstante Frequenz sowie eine scharfe Bündelung auf. Maser und Laser finden in der Technik bereits viele wichtige Anwendungen. Abb. 4 zeigt die technische Ausführungsform eines Rubinmasers.

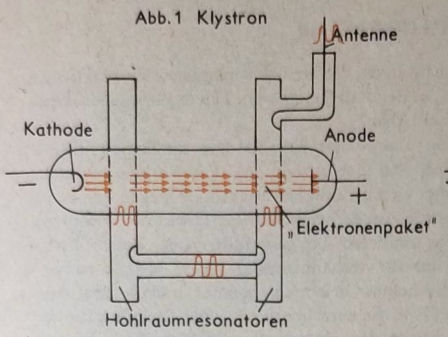


Abb. 1 Klystron

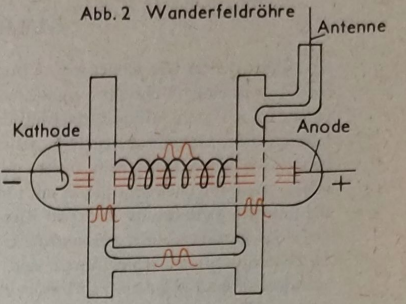


Abb. 2 Wanderfeldröhre

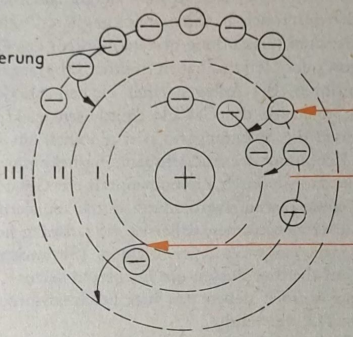


Abb. 3 Funktionsschema von Maser und Laser

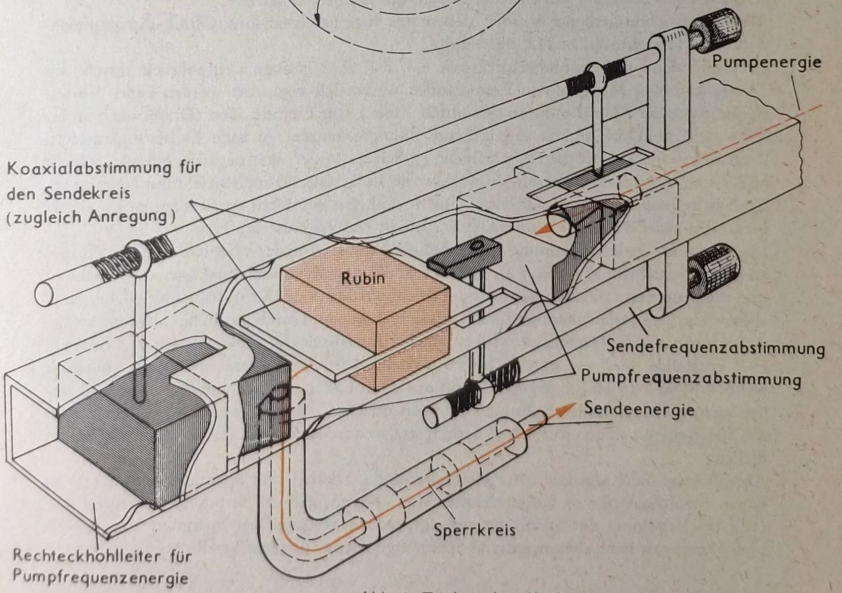


Abb. 4 Technische Ausführung eines Rubinmasers

GLEICHRICHTER

Als Gleichrichter bezeichnet man Vorrichtungen, die Ströme – vorzugsweise elektrische Ströme – in einer Richtung durchlassen, in der anderen sperren. Ein mechanisches Äquivalent ist z. B. ein Jalousieverschluß nach Abb. 1.

Röhren bzw. Gleichrichtergefäße besitzen immer eine Kathode (K), die fast ausschließlich durch einen Heizstrom erhitzt wird, und eine Anode (A). Die Kathode emittiert Elektronen, die entweder direkt mit hoher Geschwindigkeit zur Anode fliegen und damit die leitende Verbindung direkt in Richtung Anode herstellen (bei Hochvakuumröhren), oder das im Glaskolben vorhandene Gas ionisieren (bei gasgefüllten oder Ionenröhren). Hochvakuumgleichrichterröhren sind nur für verhältnismäßig kleine Ströme zu verwenden. Abb. 2 zeigt ein Prinzipschaltbild eines Gleichrichtergerätes in einfachster Ausführung (Einweggleichrichter): Da die Gleichrichterröhre nur in einer Richtung für den Strom durchlässig ist (Abb. 3), ergibt sich in dem sie enthaltenden Stromkreis ein pulsierender Gleichstrom, der durch den Kondensator „geglättet" wird.

Gasgefüllte Gleichrichterröhren (Gasfüllung besteht meistens aus Quecksilberdampf oder einem Edelgas, z. B. Argon oder Helium) haben in ihrer Wirkungsweise ein anderes Verhalten als Hochvakuumröhren. Bei Anlegen einer kleinen Anodenspannung fließt zunächst nur ein geringer Strom, da das Gas die emittierten Elektronen eher bremst als fördert. Erhöht man jedoch die Spannung, so tritt plötzlich ein starker Strom ein, die Röhre „zündet". Durch Erhöhung der Anodenspannung bekommen die Elektronen eine so hohe Geschwindigkeit, daß sie durch Zusammenprall mit Gasatomen diese ionisieren. Der innere Widerstand einer Leitungsverbindung durch ionisiertes Gas ist wesentlich geringer als der eines Elektronenstromes, daher ist die Leistung höher. Abb. 4 zeigt die technische Ausführungsform eines Großgleichrichters (Stromrichter). Er hat mehrere Anoden zur Verteilung auf die drei Phasen des Drehstromnetzes.

Als Gleichrichterelemente werden neben den hier beschriebenen Glühkathodengleichrichtern Halbleiter (s. S. 112) verwendet.

Kennzeichnend für Halbleiterwerkstoffe ist, daß ihre geringe Leitfähigkeit durch den Zusatz kleinster Mengen von Fremdstoffen wesentlich verändert werden kann. Verunreinigt man die Kristalle durch gewollten Zusatz von Fremdstoffen (Dotierung), so erhöht sich die Leitfähigkeit um mehrere Zehnerpotenzen. Je nach Dotierungsmaterial kann man eine positiv leitende Schicht (*p*-Schicht) oder eine negativ leitende Schicht (*n*-Schicht) herstellen. Hiermit kann man die Elektronenstromfließrichtung bestimmen. Treffen in einem Germaniumkristall eine *n*- und eine *p*-Schicht zusammen, so hat dieser Kristall gleichrichtende Eigenschaften (Abb. 6; Halbleiterdiode).

Legt man eine äußere Spannung so an, daß der Minuspol an der *n*-Schicht und der Pluspol an der *p*-Schicht liegt (Abb. 6 a), so werden die negativen Ladungsträger der *n*-Schicht und die positiven Ladungsträger der *p*-Schicht zur Mitte des Kristalls, zum *pn*-Übergang, abgedrängt, weil gleichnamige Ladungen sich abstoßen. Durch das hohe Angebot an Ladungsträgern in der Grenzzone wird ein starker Austausch von Elektronen und „Löchern" (+) entstehen und ein großer Strom fließen. Wird die äußere Spannung umgepolt (Abb. 6 b) so werden die negativen und positiven Ladungsträger von der Grenzzone abgezogen, weil sich ungleichnamige Ladungen anziehen. An der Grenzzone, der sogenannten Sperrschicht, stehen jetzt keine Ladungsträger zur Verfügung, und es kann kein Strom fließen.

Abb. 5 zeigt die Kennlinie einer Halbleiterdiode. Hierbei sind Spannung und Strom in einem Koordinatenkreuz aufgezeichnet. Man erkennt, daß der Strom in positiver Richtung bei Erhöhung der Spannung ansteigt, jedoch bei negativer Spannung gleich Null bleibt bzw. erst bei hohen negativen Spannungen etwas in negativer Richtung fließt.

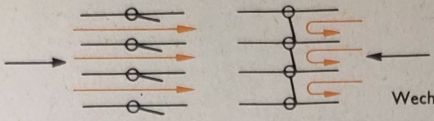


Abb. 1 Jalousieverschluß als „Gleichrichter"

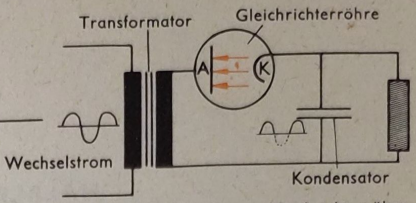


Abb. 2 Einfache Einweggleichrichterröhre

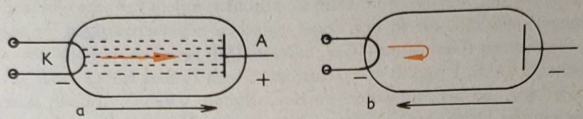


Abb. 3 Durchflußrichtung (a) und Sperrichtung (b) bei einer Gleichrichterröhre

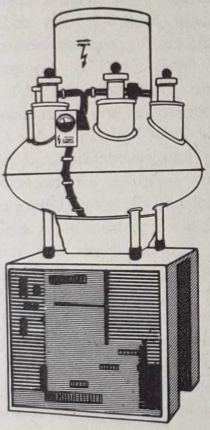


Abb. 4 Technische Ausführungsform eines Großgleichrichters

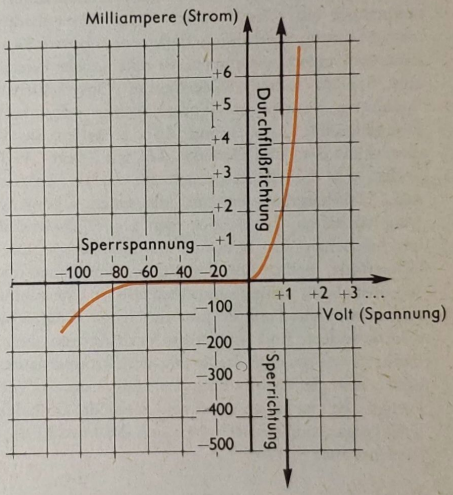


Abb. 5 Kennlinie einer Halbleiterdiode

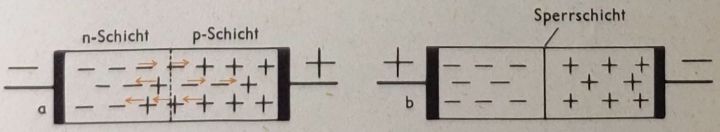


Abb. 6 Gleichrichterwirkung einer Halbleiterdiode

HALBLEITER

Im Gegensatz zu Metallen sind im Halbleiter nur wenig quasi-freie (s. S. 92) Elektronen bei Zimmertemperatur vorhanden. Die Leitfähigkeit der Halbleiter ist daher um etwa das 10^5-fache geringer als die der Metalle. Man kann sie erhöhen, indem man die elektronischen Doppelbindungen aufbricht, die in der Regel zwischen den vierwertigen Atomen der halbleitenden Substanzen (Germanium [Ge], Silicium [Si]) bestehen, wie aus dem ebenen Kristallgitterschema (Abb. 1 und 2) zu ersehen ist. Durch Einbau höher- oder geringerwertiger Fremdatome, die als Störstellen im Kristallgitter wirken (Abb. 4), lassen sich die Leitfähigkeiten der Halbleiter in weiten Grenzen verändern. Als Donator bezeichnet man dabei ein Fremdatom, das durch Abgabe eines Elektrons die Elektronenleitung ermöglicht, als Akzeptor einen „Elektronenfänger". Positive Leitung tritt bei Elektronenmangel ein – es wandert ein positiver Ladungszustand (Löcherleitfähigkeit); negative Leitung wird durch Elektronenüberschuß verursacht. Stoßen positiv und negativ leitende Gebiete zusammen, so tritt an der Grenzschicht ein Verarmungsbereich, d. h. eine Schicht hohen Widerstandes (Sperrschicht) auf (Abb. 6). Das Anlegen einer Spannung vergrößert (Sperrichtung) oder verkleinert (Flußrichtung) den Verarmungsbereich. Abb. 3 und Abb. 5 stellen die Verhältnisse im sog. Elektronen-Bändermodell dar. Der Bereich ΔE wird dort „verbotene Zone" genannt. Als Ordinate finden wir die Elektronenenergie E, als Abszisse die Längsausdehnung x aufgetragen. Halbleiterbauelemente, die einen Übergang von positiver zu negativer Leitung enthalten, bezeichnet man als *Halbleiterdioden*, solche, die zwei Übergänge der beschriebenen Art besitzen, als *Transistoren*. Der Transistor (Abb. 7) ist eine Halbleitertriode. Seine drei Elektroden bezeichnet man als Emitter, Basis und Kollektor. Wesentlich für seine Funktionsweise ist eine schmale Basis (50μm), damit die Ladungsträger aus dem Emitterraum durch die Grenzschicht 1 und durch den Basisraum hindurchwandern und somit die Vorgänge an der Grenzschicht 2 beeinflussen können; dadurch erfolgt eine Steuerung des Stromverlaufes zwischen Basis und Kollektor. Dies ermöglicht die Verwendung des Transistors zur Verstärkung und Erzeugung von Schwingungen. Er verdrängt mehr und mehr die Glühelektronenröhren (s. S. 104). Neben dem geringeren Raumbedarf wirkt sich der Fortfall der Heizleistungen vorteilhaft aus. – Vgl. Gleichrichter S. 110.

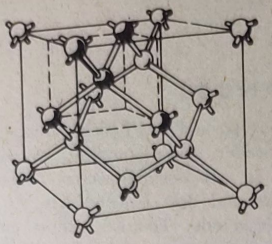


Abb. 1 Kristallstruktur einer halbleitenden Substanz

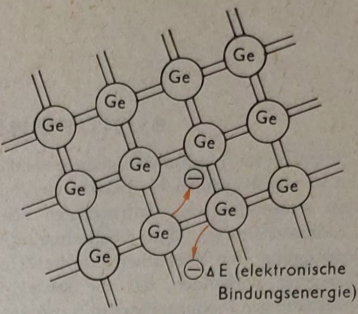


Abb. 2 Kristallgitterschema

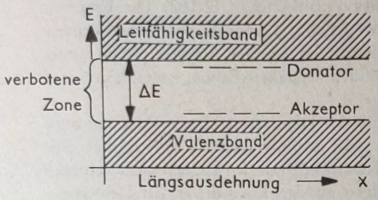


Abb. 3 Elektronen-Bändermodell eines Halbleiters mit Störleitung

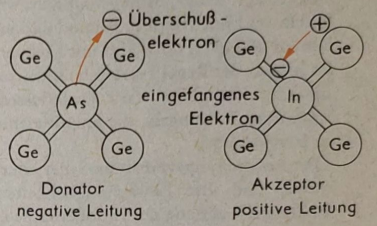


Abb. 4 Donator- und Akzeptorstörstelle

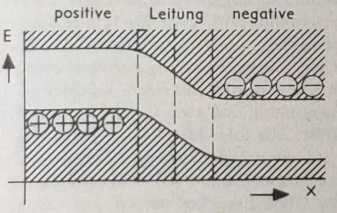
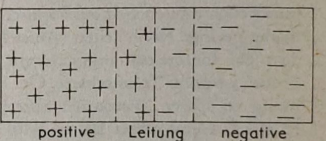
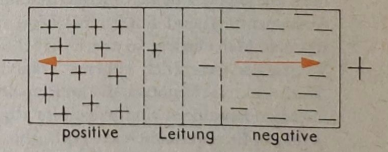


Abb. 5





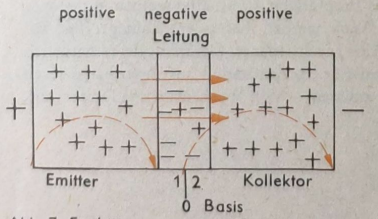


Abb. 7 Funktionsweise eines Transistors: Strom im Kollektorkreis gesteuert durch Leitung im Emitterkreis

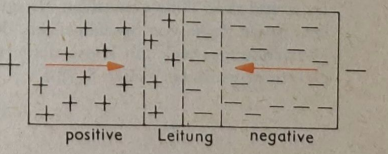


Abb. 6 Entstehung und Schwankung eines Verarmungsbereiches

RUNDFUNKEMPFÄNGER

Der einfachste Rundfunkempfänger besteht aus dem Eingangskreis zur Abstimmung auf die zu empfangenden Frequenzen der verschiedenen Sender, dem Demodulationskreis zum Aussondern der tonfrequenten Schwingungen aus dem hochfrequenten Träger (Audionschaltung), einer Niederfrequenzverstärkerstufe und dem Lautsprecher. Zur Versorgung der Verstärkerelemente (Hochvakuumröhren oder Transistoren) ist ein Netzgerät vorhanden, das die erforderlichen Versorgungsspannungen liefert. Entsprechend den Frequenzbändern, auf denen Sender Wellen abstrahlen, sind die Empfänger mit dem Langwellenbereich (150 bis 285 kHz), dem Mittelwellenbereich (bis 1605 kHz), dem Kurzwellenbereich (6 bis 21,4 MHz) und dem Ultrakurzwellenbereich (bis 100 MHz) ausgerüstet. Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich arbeiten mit einem Kanalabstand von 9 kHz und mit Amplitudenmodulation (s. S. 102); der Kanalabstand im UKW-Bereich beträgt 300 kHz, dort wird mit Frequenzmodulation gearbeitet (s. S. 102). Der Empfang ist hier in der Regel besser als in den anderen Bereichen, da auch hohe Tonfrequenzen, die das Klangbild stark beeinflussen, mit übertragen werden können. Auch atmosphärische Störungen, die amplitudenmodulierenden Charakter haben, treten hier kaum in Erscheinung.

Die Ausbreitungsverhältnisse der vier Funkbereiche bestimmen ihren Verwendungszweck und ihre Einsatzmöglichkeiten. Lang- und Mittelwellensender strahlen eine Bodenwelle entlang der Erdoberfläche und eine Raumwelle aus. Im allgemeinen empfängt man nur die Bodenwelle (Reichweite bis zu einigen hundert km); die an der Heavysideschicht (elektrisch leitende Schicht in der Atmosphäre) reflektierte Raumwelle erlaubt weit größere Reichweiten. Im Kurzwellenbereich wird nur mit Raumwellen gearbeitet. Ultrakurzwellen breiten sich quasioptisch (geradlinig) aus; sie erzielen deshalb nur verhältnismäßig geringe Reichweiten (Aufstellung der Sender auf Anhöhen!).

Je mehr hintereinandergeschaltete Abstimmkreise im Empfänger vorhanden sind, desto größer ist seine Trennschärfe. Um bei den vielen notwendigen Kreisen die Handabstimmung zu sparen, wurde der Superheterodynempfänger („Super") entwickelt (Abb. 1). In einem Gerät dieser Bauart wird im Oszillator eine eigene Hochfrequenzschwingung erzeugt und mit der empfangenen gemischt. Beide Kreise werden mit einem auf einer gemeinsamen Achse laufenden Drehkondensator abgestimmt, und zwar in der Form, daß die Differenz der beiden Frequenzen immer gleich ist. Alle folgenden Kreise (Zwischenfrequenzfilter) sind nur einmal beim Hersteller auf diese Differenzfrequenz eingestellt worden. Man erreicht so eine hohe Selektivität, braucht aber nur zwei Kreise abzustimmen. Wegen der wesentlich höheren Trägerfrequenz des UKW-Bereiches werden dort kleine Abstimmkreise benötigt, die im Empfänger als Sonderbauteile in Erscheinung treten. Die Drehkondensatoren sind jedoch im allgemeinen auf der gleichen Welle befestigt wie die für den Mittelwellenbereich (vgl. Abb. 2).

Der Niederfrequenz- oder Tonfrequenzteil des Empfängers ist im allgemeinen in mehrere Kanäle für Hochton und Tiefton getrennt. Auch werden besondere Lautsprecher für hohe und tiefe Töne verwendet. Neben den hier beschriebenen Geräten gibt es natürlich eine ganze Reihe von Spezialgeräten, die jeweils (z. B. Autoradio) auf ihren besonderen Verwendungszweck hin konstruiert werden müssen. – Vgl. Wechselstrom, Drehstrom, elektromagnetische Wellen S. 98ff.

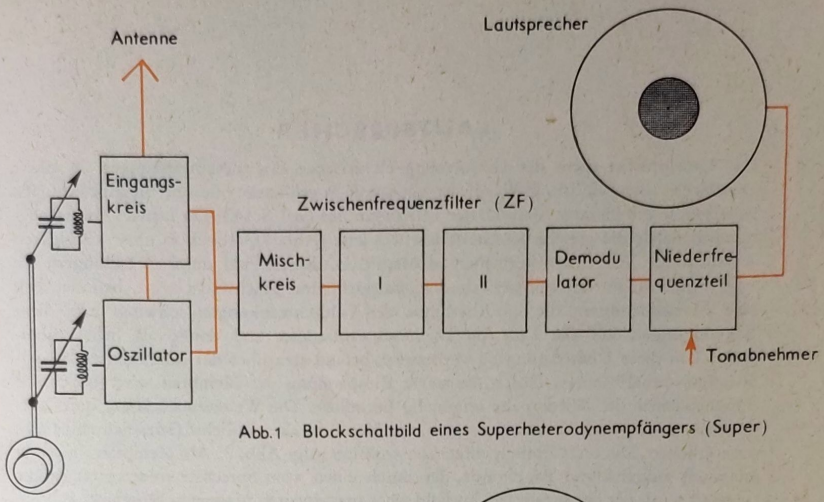


Abb. 1 Blockschaltbild eines Superheterodynempfängers (Super)

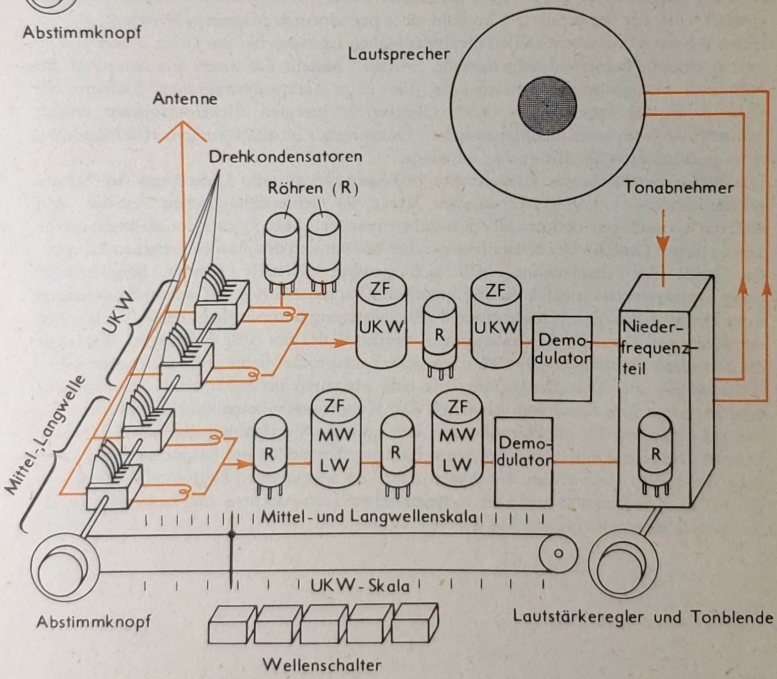


Abb. 2 Prinzipieller Aufbau eines Rundfunkempfangsgerätes

LAUTSPRECHER

Der Lautsprecher dient der Umformung elektrischer Energieschwankungen in solche akustischer Energie, d.h. in Schall. Er hat somit in größerem Maßstab dieselbe Aufgabe zu leisten wie in kleinem Maßstab der Telephonhörer (vgl. S. 142). Die ersten Lautsprecher besaßen daher die gleiche Konstruktion wie jene (Abb. 1), jedoch in einer kräftigeren Ausführung: Vor einem permanenten Magneten, dessen Feld durch Wicklungen, die vom Sprechstrom durchflossen werden, verstärkt und geschwächt wird, befindet sich eine Metallmembran, die im Rhythmus der Feldschwankungen schwingt und diese Schwingungen auf die Luft als Dichteschwankungen und damit als Schall überträgt. Um diese Übertragung zu verbessern, befand sich über der Membran ein kegelförmiger Schalltrichter. Durch die starre Einspannung der Membran wird jedoch die Frequenztreue der Wiedergabe ungünstig beeinflußt. Die Weiterentwicklung der Lautsprecher mußte deshalb darauf abzielen, der Membran ein möglichst freies Schwingen zu ermöglichen. Die erste Freischwingerkonstruktion zeigt Abb. 2: Als Membran dient ein elastisch aufgehängter Pappkonus, der durch einen vom Sprechstrom erregten Anker bewegt wird, der wiederum frei im Feld eines permanenten Magneten schwingt.

Einen weiteren Fortschritt stellen die dynamischen Lautsprecher dar (Abb. 3 und 4). Der frei in einem Magnetfeld schwingende „Anker" besteht bei ihnen aus einer mit der Membran verbundenen Schwingspule, die beim elektrodynamischen Lautsprecher (Abb. 3) in das Innere eines durch Gleichstrom erregten Elektromagneten taucht, während sie beim permanentdynamischen Lautsprecher im ringförmigen Hohlraumspalt eines permanenten Topfmagneten schwingt.

Die bisher beschriebenen Lautsprecher bedienen sich für die Umsetzung der Stromschwankungen in solche mechanischer Natur des elektrodynamischen Prinzips. Auf anderen Grundlagen beruhen der Kristallautsprecher (Abb. 5) und der elektrostatische Lautsprecher (Abb.6). Der Kristallautsprecher bedient sich des piezoelektrischen Effektes, das heißt der Erscheinung, daß sich gewisse Kristalle (Quarz, Seignettesalz) unter Druck elektrisch aufladen und umgekehrt bei elektrischer Aufladung Änderungen ihrer Dicke zeigen. Bei Anlegen einer Wechselspannung treten entsprechende Variationen der Dicke auf. Diese Dickeschwingungen werden in der aus Abb. 5 gezeigten Weise auf die Membran übertragen. Der elektrostatische Lautsprecher benutzt die elektrostatischen Anziehungs- und Abstoßungskräfte, die eine Membran im Felde eines Kondensators erleidet, wenn ihre Spannung schwankt. Die Kondensatorplatten sind durchlöchert, so daß die erzeugten Dichteschwankungen der Luft die Vorrichtung als Schall verlassen können. Die beiden zuletzt beschriebenen Lautsprecher eignen sich besonders zur Wiedergabe der hohen Frequenzen. Sie dienen daher im sogenannten High-fidelity-Verfahren (Hi-Fi) in Kombination mit elektrodynamischen Lautsprechern der besonders naturgetreuen Wiedergabe (vgl. S. 368 ff).

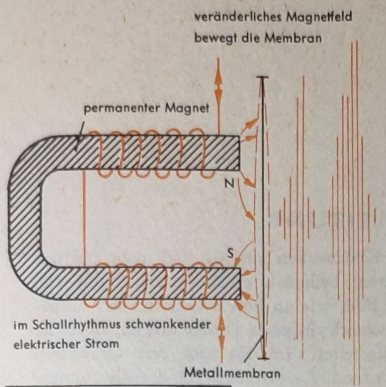


Abb. 1 Prinzip des Lautsprechers

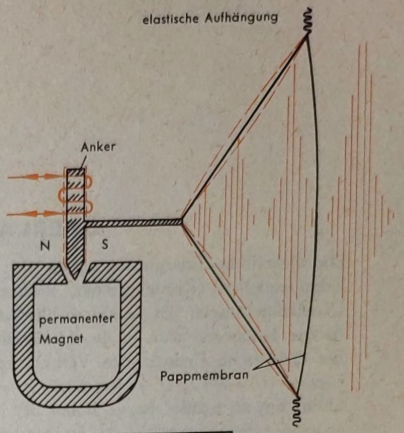


Abb. 2 Freischwingender Lautsprecher

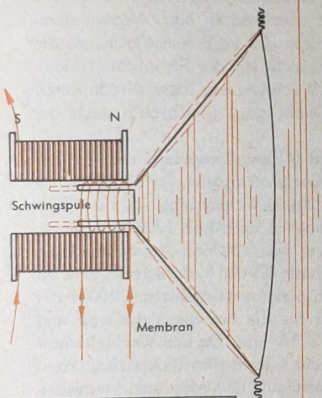


Abb. 3 Dynamischer Lautsprecher

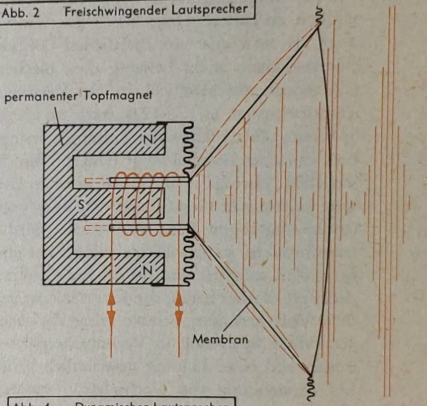


Abb. 4 Dynamischer Lautsprecher

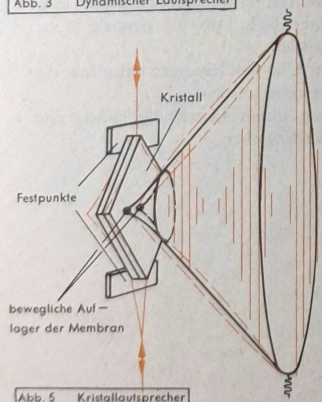


Abb. 5 Kristallautsprecher

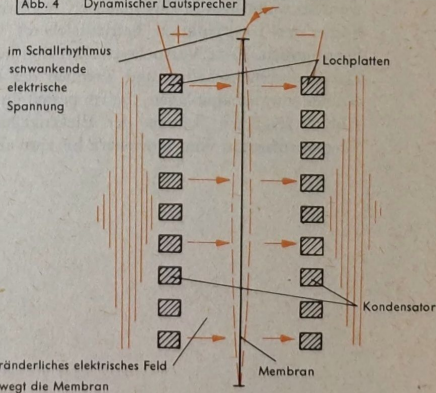


Abb. 6 Elektrostatischer Lautsprecher

ÜBERLANDLEITUNG

Die elektrische Energieversorgung von den Kraftwerken aus, die sich nahe bei den Energiequellen (Kohlevorräten, Wasservorräten) befinden, geschieht mit Hilfe von Überlandleitungen. Es ist ein wohlbekanntes Bild, wie an hohen Gittermasten aufgehängte Isolatoren weit in die Landschaft hineinschwingende Drähte tragen, über die die elektrische Energie den Verbrauchern zugeleitet wird. Da nach dem Ohmschen Gesetz ($U = R \cdot I$; U = Spannung, R = Widerstand, I = Stromstärke) der Spannungsabfall um so größer ist, je höher der Widerstand der Leitung (d.h. ihre Länge) und je größer die Stromstärke ist, ist man bestrebt, beide elektrischen Größen so klein wie möglich zu halten. Hinsichtlich des Widerstandes ist man bald an einer Grenze angelangt, da man aus wirtschaftlichen Gründen und wegen des zu hohen Gewichtes die Drahtleitungen nicht beliebig dick machen kann. Hinsichtlich der Stromstärke bietet sich jedoch die Möglichkeit, bei Verwendung von Wechselstrom diese Größe durch Transformation (s. S. 122) stark zu verkleinern. Damit wird gleichzeitig auch der Spannungsabfall längs der Leitung verringert.

Ein einfaches Beispiel zeigt Abb. 1: Ein 220-Kilowatt-(Kilovoltampere-)Generator liefert 1000 A bei 220 Volt primär in einen Hochspannungstransformator, der die 220-Kilowatt-Leistung in Gestalt eines Stromes von 1 A bei 220000 V Spannung an eine Überlandleitung abgibt. Beim Verbraucher wird die Spannung im Verhältnis 1000:1 heruntertransformiert, so daß diesem wieder bei einer Spannung von 220 Volt Stromentnahmen bis 1000 A möglich sind. In der Regel führt man jedoch die 220000 Volt nicht so nahe an den Verbraucher heran, sondern transformiert die Hochspannung zunächst auf 20000 bzw. 6000 Volt herunter, benutzt diese Zwischenspannung für die örtliche Verteilung und setzt diese Spannung in Verbrauchernähe wieder in 220 V um. Da der Wechselstromwiderstand einer Leitung gewöhnlich größer ist als der Gleichstromwiderstand, treten bei Verwendung von Wechselstrom zusätzliche Verluste auf. Diese könnten vermieden werden, wenn man hochgespannte Gleichströme verwenden würde. Dies ist jedoch eine Frage der Konstruktion betriebssicherer Gleichrichter (s. S. 110) für derartig hohe Spannungen. Erste Versuchsstrecken sind bereits in Betrieb.

Das Zusammenschalten und Trennen der Netze von Überlandleitungen erfordert die Anlage von Schaltanlagen, die am besten im Freien errichtet werden.

Abb. 3 zeigt ein Schema der Elektrizitätsversorgung durch Überlandleitungen und Transformatoren vom Kraftwerk bis zum einzelnen Verbraucher.

Abb. 1

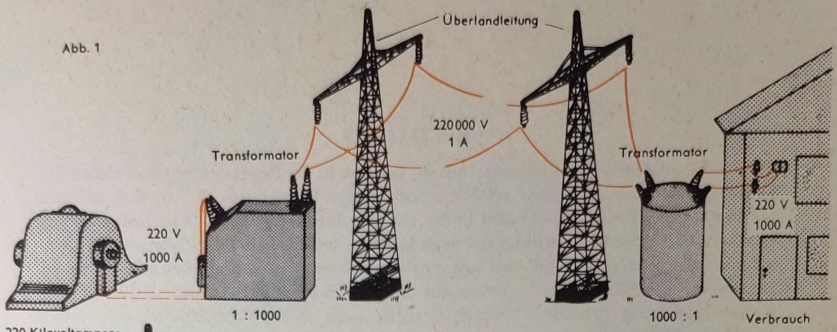
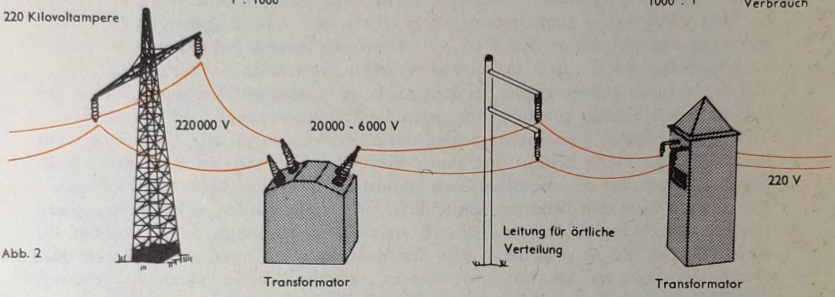


Abb. 2



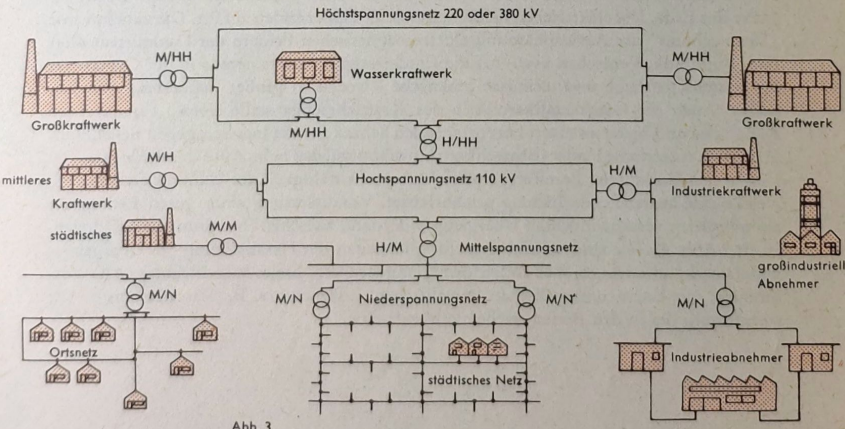


Abb. 3

HH = Höchstspannung, H = Hochspannung, M = Mittelspannung, N = Niederspannung,
/ = wird transformiert auf, = Transformation

ERDUNG

Die Stoffe, aus denen die Erde aufgebaut ist, besitzen in der Regel eine mittlere elektrische Leitfähigkeit; auch das meist reichlich vorhandene Wasser mit den in ihm gelösten Substanzen des Erdbodens (Salze) bildet einen elektrischen Leiter (Elektrolyten). Das bedeutet, daß elektrische Ströme auftreten können, sobald Spannungsdifferenzen an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche vorhanden sind, umgekehrt aber auch, daß sich jede Spannungsdifferenz sofort ausgleicht und die Erdoberfläche daher als Fläche konstanter Spannung (gleichen Potentials, daher auch Äquipotentialfläche) aufzufassen ist. Man wählt – da Potentialmessungen ja relativ sind – das Erdpotential als Bezugsspannung und gibt diesem den Wert Nuil. Elektrisch leitende Substanzen oder Geräte, die unmittelbar mit der Erde in Verbindung stehen, bezeichnet man als geerdet (Abb. 1 und 2). An ihnen können gegenüber der Erde keine Spannungsdifferenzen auftreten. Die Erdung bietet mithin einen Schutz gegen Berührungsspannung und die damit verbundenen Gefahren (elektrischer Schlag mit Auswirkungen bis zur Todesfolge): Die Person, die das Gerät berührt, hat durch die Verbindung mit der Erde deren Nullpotential, gegenüber dem geerdeten Gerät können keine Spannungsdifferenzen auftreten.
Die Erdung kann man benutzen, um feldfreie Räume zu schaffen, d. h. Räume, welche frei von elektrischen Feldern sind, die z. B. empfindliche Messungen stören könnten. Zu diesem Zweck kleidet man die Wände des Meßraumes mit metallischen Platten oder Drahtgittern aus, die sämtlich untereinander, einschließlich der Türen und Fenster, metallisch gut leitend verbunden und geerdet sind. Da der Raum dann von Äquipotentialflächen des konstanten Erdpotentials (Null) umgeben ist, kann sich in ihm keine elektrische Feldstärke (Spannungsgefälle je Längeneinheit) ausbilden. Diese Eigenschaft so ausgestatteter Räume wurde zuerst von M. Faraday erkannt; noch heute nennt man einen derartig gegen äußere Felder abgeschirmten Raum einen Faradayschen Käfig (Abb. 3). Die Oberfläche eines solchen Raumes bildet nach außen einen Teil der Null-Potentialfläche der Erde. Die elektrischen Feldlinien äußerer Felder enden auf ihr. Die zunehmende „Verseuchung" der Atmosphäre mit elektromagnetischen Feldern der Funkdienste aller Art (Rundfunk, Fernsehen usw.) hat die Entdeckung Faradays gerade in der Gegenwart für wissenschaftliche und technisch-praktische Zwecke zu großer Bedeutung gelangen lassen. Auch die Ganzmetallkarosserie des Kraftfahrzeugs stellt einen „Faradayschen Käfig" dar und bietet so einen hervorragenden Schutz für die Insassen gegen Schädigungen durch elektrische Felder (Blitzschlag); hinzukommt, daß beim Auto durch Beigabe von Ruß in den Gummi der Bereifung eine elektrische Leitfähigkeit des Gummis erzielt wird, welche eine ausreichende Erdung gewährleistet. Voraussetzung einer guten Erdung ist ein möglichst verschwindender Übergangswiderstand zwischen Erdleitung und Erdreich. In den Abb. 4 a–4 c sind verschiedene Möglichkeiten der Herabsetzung des Übergangswiderstandes gezeichnet; 4 a: fächerförmig angeordnete, breite Metallbänder; 4 b: Verbindung mit einem unterirdischen, metallischen Rohrnetz (z. B. Wasserleitung); 4 c: sternförmig tief in den Boden reichende Metallstäbe.

Abb. 1 Erdung eines Elektrogerätes über Schukostecker

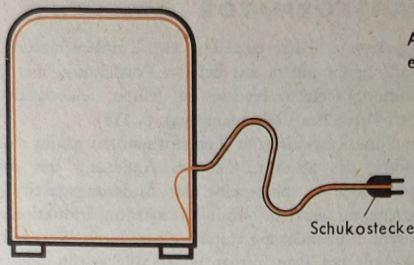


Abb. 2 Erdung eines Gittermastes

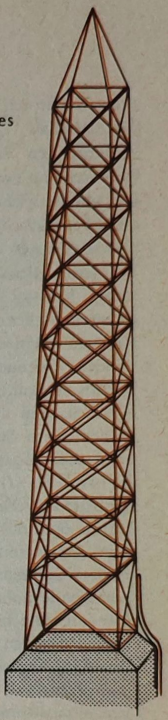


Abb. 3 Faradayscher Käfig (im Inneren feldfreier Raum)

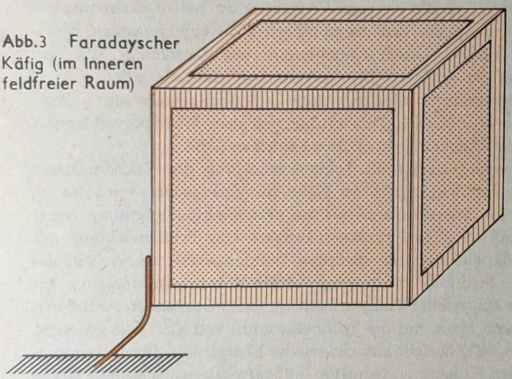
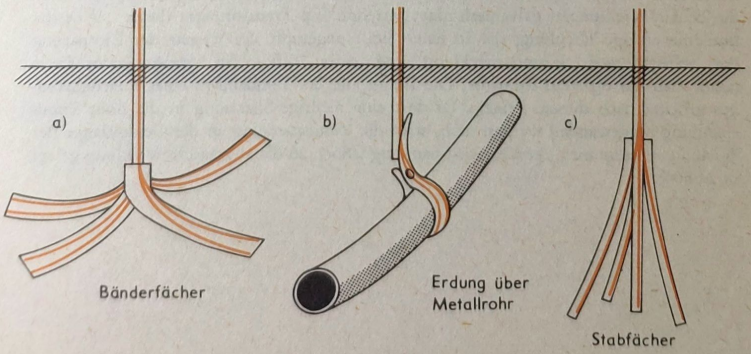


Abb. 4 Erdleitung



TRANSFORMATOR

Transformatoren (Wandler, Umspanner) dienen einerseits zur Transformierung von Wechsel- bzw. Drehstrom auf hohe Spannungen, um bei der Fortleitung über große Entfernungen die relativen Spannungsverluste niedrig zu halten, andererseits der Herabsetzung der Spannung an den Orten des Verbrauchs (vgl. S. 118).

Die physikalische Grundlage der Funktionsweise der Transformatoren ergibt sich aus dem Faradayschen Induktionsgesetz, das aussagt, daß bei Änderung des magnetischen Flusses durch eine Leiterschleife in dieser eine der Änderungsgeschwindigkeit proportionale Elektrizitätsströmung entsteht (Induktionsstrom, Induktionsspannung). Erzeugt man die magnetische Flußänderung mittels eines durch Wechselstrom erregten Elektromagneten (Primärspule des Transformators), so läßt sich in einer zweiten vom magnetischen Wechselfeld durchfluteten Spule wieder elektrische Energie gewinnen (Sekundärspule des Transformators). Die Umwandlung geschieht mit sehr hohem Wirkungsgrad (98–99%), da als einziger Energieverlust bei niederfrequentem Wechselstrom nur die Erwärmung des den magnetischen Fluß aufnehmenden Eisenkernes durch Wirbelströme auftritt. Durch Lamellierung des Eisenkernes läßt sich aber auch dieser Energieverlust wirksam herabsetzen. Im Idealfalle gilt:
$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$ (Eingangsspannung × Eingangsstrom = Ausgangsspannung × Ausgangsstrom). Das Verhältnis $U_1 : U_2$ hängt dabei nur von dem Windungszahlenverhältnis der induktiv über einen Eisenkern gekoppelten Spulen ab (Abb. 1).

Zum Heraufsetzen der Spannung besitzt die Sekundärwicklung des Transformators mehr Windungen als die Primärwicklung. In der Nähe des Verbrauchers wird die ankommende hohe Spannung im Transformatorhaus auf eine niedrige Spannung transformiert. Die hierzu verwendeten Transformatoren besitzen eine Primärwicklung mit hoher, dagegen eine Sekundärwicklung mit niedriger Windungszahl. So wird in der Regel im Verteilungsnetz der Städte die Spannung auf 6000 Volt heruntertransformiert und dann durch bezirksweise aufgestellte Transformatoren, unter Umständen auch durch Einzeltransformatoren in jedem Haus, auf die Spannungsnorm von 220 Volt gebracht. Auch die Klingelanlage (s. S. 324) bezieht ihre elektrische Energie aus diesem normierten Netz, und zwar über einen Klingeltransformator (in Sparschaltung; s. unten), der in der Regel eine Betriebsspannung von 4–8 Volt liefert. Eine Ausführungsform des Transformators mit geschlossenen Eisenjochen für Wechselstrom zeigt Abb. 2. In Abb. 3 a u. 3 b ist ein Transformator in Sparschaltung wiedergegeben. Bei dieser Bauart sind die beiden Wicklungen galvanisch nicht getrennt. Ein Transformator dieser Art besitzt nur eine einzige Wicklung, die an einer Stelle angezapft ist. Wegen der Einsparung der selbständigen Sekundärwicklung und eines Teiles der Stromwärmeverluste nennt man ihn Spartransformator. Die Zündspule der Zündanlage eines Kraftfahrzeuges arbeitet nach diesem Prinzip. Da dort eine niedrige Spannung in die hohe Zündspannung umgewandelt werden muß, wird die Zündspannung an der Gesamtlänge der Wicklung entnommen, die niedrige Spannung jedoch an die angezapfte Wicklung gelegt (s. S. 604).

Eingangsspannung : Ausgangsspannung = 1 : 2

Eingangsstrom : Ausgangsstrom = 2 : 1

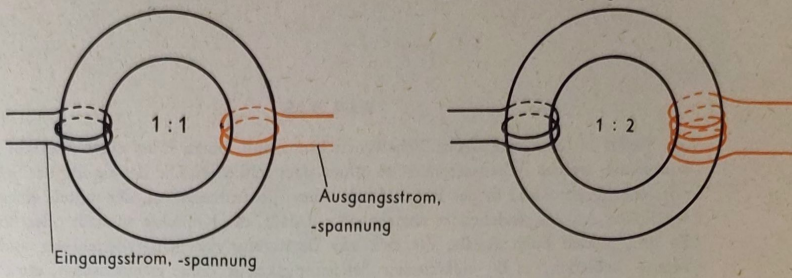


Abb. 1 Ringkerntransformator

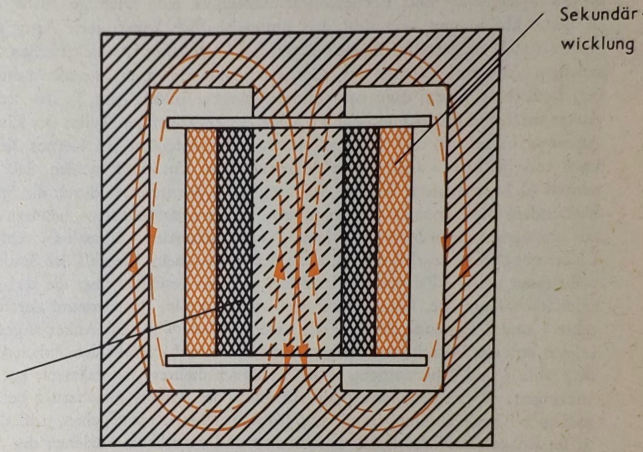


Abb. 2 Kerntransformator

gnetisches Wechselfeld
bleibt weitgehend im Eisen
d bewirkt elektrische Induktion
der Sekundärwicklung

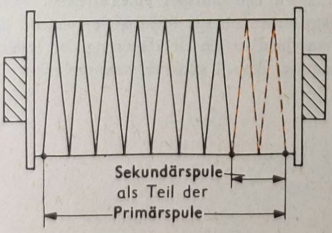


Abb. 3a Spartransformator

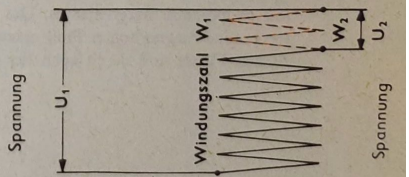


Abb. 3 b Prinzipschaltbild
eines Spartransformators

RELAIS

Ein Relais ist eine elektrische Schaltvorrichtung mit einem oder einer Vielzahl von Kontakten, welche Arbeitsstromkreise öffnen oder schließen. Die Betätigung der Schaltvorrichtung geschieht in der Regel durch einen Elektromagneten, der mittels eines beweglichen Ankers, welchen er anzieht oder losläßt, die Kontakte schließt oder öffnet. Es gibt jedoch auch Relais, die sich zur Betätigung der Schaltvorrichtung anderer Kräfte bedienen, z. B. elektrischer Anziehungskräfte oder mechanischer, etwa der Biegungskräfte eines Bimetallstreifens beim Thermorelais (vgl. Thermostat, S. 40).
An dieser Stelle soll auf das elektromagnetische Relais näher eingegangen werden, das in der Fernmelde- und Rechenautomatentechnik eine wichtige Rolle spielt.
In den Abbildungen 1–3 sind drei unterschiedlich konstruierte Arten elektromagnetischer Relais dargestellt, die sich durch die Gestaltung des elektrischen Ankers unterscheiden. Alle drei bestehen aus einer Relaisspule mit einem Eisenkern und einem eisernen Joch (bzw. einem dazu ausgebildeten langen Anker; Abb. 3), das den beweglichen Anker trägt und die magnetische Polarität des rückwärtigen Teiles des Eisenkernes dem Anker vermittelt, so daß zwischen Anker und Vorderseite des Kernes die Anziehungskraft verschiedener magnetischer Polarität wirkt. Um zu vermeiden, daß infolge remanenten (d. h. auch nach Wegfall des erregenden Stromflusses durch die Spule bestehenbleibenden) Magnetismus der Anker am Eisenkern haften bleibt, bewirkt ein Trennstift aus unmagnetischem Material (Messing) einen schmalen Luftspalt zwischen Anker und Elektromagneten, so daß ein Abfallen des Ankers beim Wegfall des Spulenstromes gewährleistet ist. Die Zuführung des Spulenstromes geschieht über die als „Lötstifte" bezeichneten Kontakte. Beim Relais nach Abb. 1 ist im Ruhezustand der über die Kontakte 1 und 2 führende Arbeitskreis unterbrochen. Wird der Anker angezogen, drückt er den unteren Federkontakt gegen den oberen und schließt den Arbeitskreis. Wie aus den Abb. 2 und 3 hervorgeht, lassen sich auch mehrere Kontaktsätze auf einem Relais anbringen; sie werden dann beim Anziehen des Ankers gleichzeitig betätigt. Hierbei sind auch Kontaktstellungen mit sog. Ruhestrombetrieb angegeben, d. h., der Stromkreis ist im Ruhezustand des Relais geschlossen und wird beim Anziehen des Ankers unterbrochen (Abb. 2 und 3; Arbeitskreiskontakte 2 und 3). Ein elektromagnetisches Relais, das bevorzugt in der Telegraphie Verwendung findet und mit einem beweglichen Anker Stromimpulse verschiedener Richtung zu schalten gestattet, ist das gepolte (polarisierte) Relais (Abb. 4). Durch einen permanenten Magneten erhält der an einem Torsionsdraht aufgehängte, die Kontakte an seinem vorderen Ende tragende Anker die Polarität eines magnetischen Nordpols. Sein hinteres Ende ragt in den Luftspalt eines eisernen Joches mit südpolarem Magnetismus. Das Joch trägt außerdem die Relaisspule, welche den steuernden magnetischen Fluß erzeugt. Im einzelnen ist die Überlagerung der magnetischen Flüsse und damit auch der Kräfte aus der Abb. 4 genauer zu entnehmen.

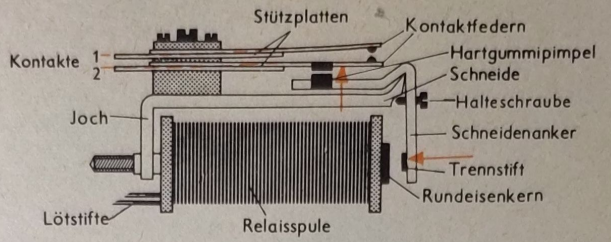


Abb.1

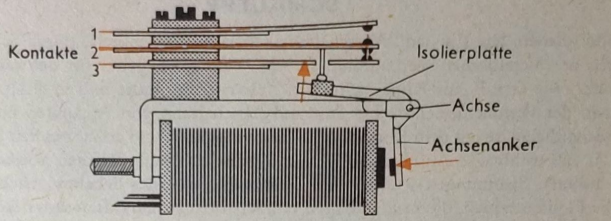


Abb. 2

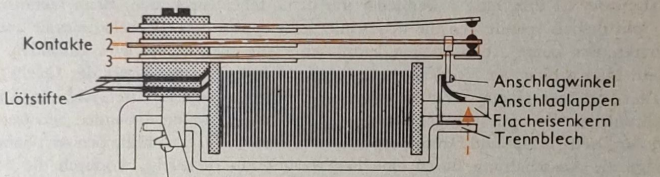


Abb.3

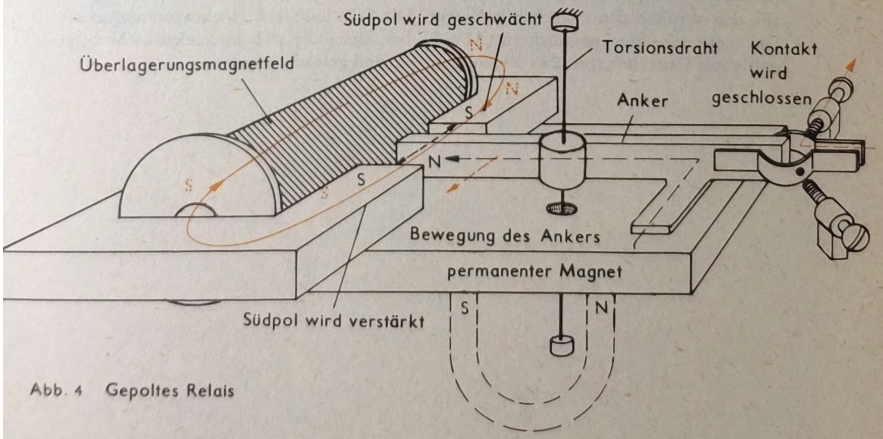


Abb. 4 Gepoltes Relais

SCHALTER

Schalter dienen dem Ein- und Ausschalten elektrischer Stromkreise durch Schließen und Öffnen der metallischen Verbindung. In Abb. 1 ist ein Schalter für Schwachstrom gezeichnet, wie er z. B. für Klingelleitungen Verwendung findet und in ähnlicher Gestalt auch in der Fernmeldetechnik zur An- und Abschaltung von Apparaten benützt wird. Der Schalthebel ist mit dem Kontakt K leitend verbunden und erlaubt in den Stellungen I und II die wahlweise Anschaltung zweier Leitungen. Beim Schalten stärkerer Ströme mit höheren Spannungen würden sich bei Benutzung eines Schalters nach Abb. 1 zu starke Funken bilden, die in Lichtbögen mit zerstörender Gewalt ausarten könnten. Um deren Entstehung zu verhindern, muß der Unterbrechungsvorgang möglichst rasch erfolgen. Man verwendet daher Hebelschalter, wie ein solcher in Abb. 2 dargestellt ist. Das Schaltmesser ist über eine Abreißfeder mit dem Hebel verbunden. Beim Herausziehen des Schalthebels spannt sich die Feder und reißt dann rasch das Schaltmesser aus dem Kontakt, der kurze Abreißfunken kann sich nicht zum Lichtbogen ausbilden. Eine andere Möglichkeit der Vermeidung störender Funkenbildung bietet der Quecksilberschalter, der mit einem Schutzgas (Edelgas, Stickstoff) gefüllt ist (Abb. 3). Die für Schaltung von Beleuchtungskörpern im Haushalt Verwendung findenden Schaltertypen sind der Dreh-, Kipp- und Druckknopfschalter (Abb. 4–6). Bei sämtlichen drei Schaltern erfolgt die Ausschaltung durch eine Federbetätigung ruckartig, wodurch die Stromunterbrechung ohne schädliche Funkenbildung erfolgt. Die Schaltung sehr starker Ströme nimmt man durch elektromagnetische Schalter vor (Abb. 7). Elektrische Leitungen hoher Spannung schaltet man unter Öl (Abb. 8); das in diesen Hochleistungsschaltern die Kontakte umgebende Öl dient einerseits der Isolation und löscht andererseits den entstehenden Ausschaltlichtbogen. Die Schaltung von Höchstspannungen erfolgt meist mit Druckgasschaltern (Abb. 9), bei denen die sich bildenden Lichtbögen kräftig mit Druckluft (bis über 30 atü) beblasen und gelöscht werden.

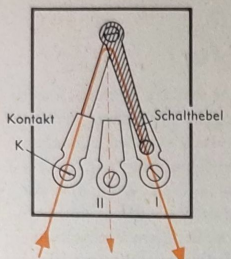


Abb. 1 Schwachstromschalter

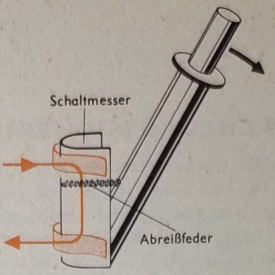


Abb. 2 Hebelschalter

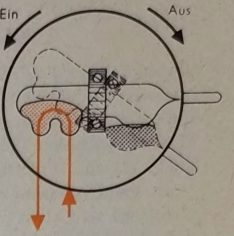


Abb. 3 Quecksilberschalter

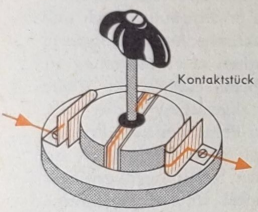


Abb. 4 Drehschalter

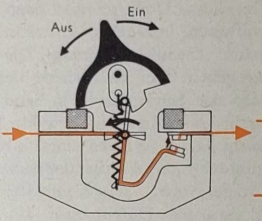


Abb. 5 Kippschalter

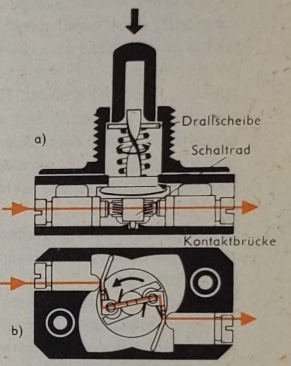


Abb. 6
Druckschalter in Längs- (a) und Querschnitt (b)

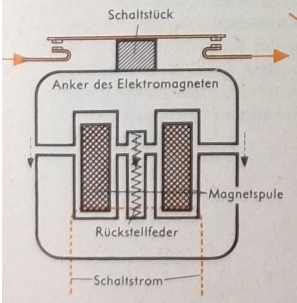


Abb. 7 Elektromagnetischer Schalter

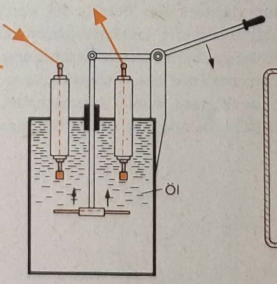


Abb. 8 Ölschalter

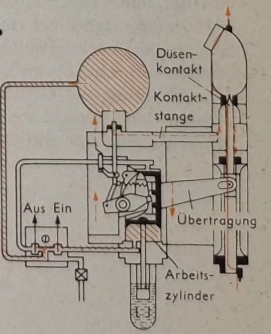


Abb. 9 Druckgasschalter

KURZSCHLUSS (SICHERUNG)

Verbindet man die Pole einer elektrischen Stromquelle mit einer kurzen, metallisch gut leitenden Verbindung (Abb. 1a), so kann durch den geringen Widerstand ein so starker Strom fließen, daß die Leitungen glühend werden und Brandschäden entstehen können. Nach dem *Ohmschen Gesetz*, das die Beziehung zwischen Spannung (U), Stromstärke (I) und Widerstand (R) regelt, gilt $U = I \cdot R$ oder auch $I = U/R$. Wenn also der Widerstand in einem elektrischen Leitungssystem durch irgendwelche unbeabsichtigten Vorgänge sehr klein wird, steigt die Stromstärke stark an. Man nennt diese Erscheinung *Kurzschluß*. Kurzschlüsse treten häufig in schadhaft gewordenen Zuleitungsschnüren elektrischer Haushaltsgeräte auf, z. B. bei Stehlampen, deren Zuleitungen vielen Biegungen unterworfen wurden. Dadurch wird die Isolation zwischen den beiden Zuleitungsdrähten schadhaft, diese berühren sich und der Kurzschluß ist geschehen. Die Schäden von Kurzschlüssen begrenzt man durch den Einbau von Sicherungen. Die einfachste Form einer Sicherung liegt vor, wenn man in den Stromkreis ein Stück Draht von geringem Querschnitt (Abb. 1b) einbaut. Der dünne Draht schmilzt dann bei den hohen Stromstärken, wie sie bei Kurzschlüssen auftreten, infolge der entwickelten Stromwärme durch und unterbricht damit den Stromkreis (Schmelzsicherung). Die praktische Ausführungsform ist in Abbildung 2 wiedergegeben: Der wesentliche Bestandteil einer Sicherung ist die Sicherungspatrone, welche den Schmelzdraht in Sand gebettet enthält. Die Stärke des Schmelzdrahtes wird nach der Stromstärke gewählt, die abgesichert werden soll. Eine durchgebrannte Sicherung ist am Abfallen eines farbigen Plättchens zu erkennen, dessen Farbe für eine bestimmte Stromstärke charakteristisch ist (grün = 6 Ampere, rot = 10 Ampere, grau = 15 Ampere usw.). Die Kontaktfüße der Sicherungen größerer Stromstärken haben einen größeren Durchmesser. Im Sockel ist der zugehörige Paßring einzusetzen. So wird vermieden, daß eine Sicherung für zu hohe Amperezahlen in einen nur schwach belastbaren Stromkreis eingeschaltet wird. Eine durchgebrannte Schmelzsicherung erfordert stets den Einsatz einer neuen Sicherungspatrone. Dies wird beim Sicherungsautomaten vermieden (Abb. 3a und 3b). Ein Schalter wird durch eine Sperrklinke in der eingeschalteten Stellung gehalten. Die Sperrklinke wird entweder durch einen Elektromagneten oder einen Bimetallstreifen zurückgezogen, wobei der Schalter, durch Federkraft betätigt, den Stromkreis unterbricht. Im ersten Falle spricht der Elektromagnet bei einer bestimmten Stärke des den Stromkreis durchfließenden Stromes an, im zweiten Fall reicht die erzeugte Stromwärme dazu aus, den Bimetallstreifen ausreichend weit durchzubiegen. Nach Beseitigung des Kurzschlusses bzw. der Überschreitung der Grenzstromstärke des Sicherungsautomaten kann der Sicherungsschalter durch Druckknopfbetätigung wieder eingeschaltet werden. Ein Auslösedruckknopf gestattet eine willkürliche Betätigung des Sicherungsschalters (Ausschaltung).

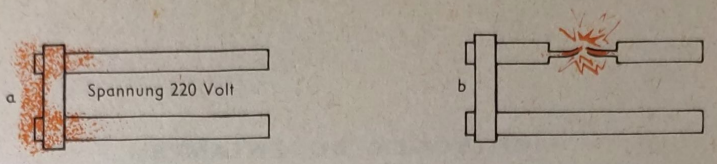


Abb. 1 Prinzip der Sicherung

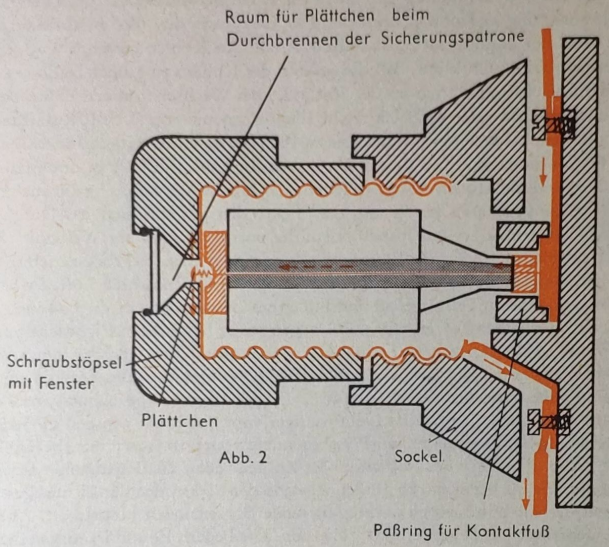


Abb. 2

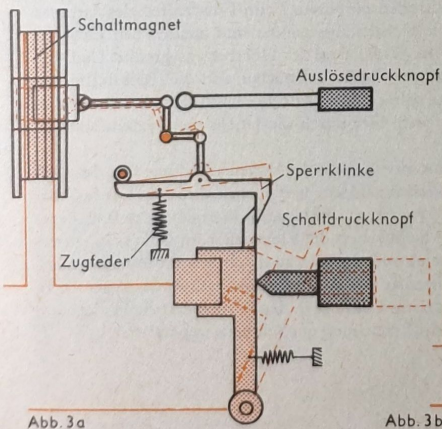


Abb. 3a
Elektromagnetischer
Sicherungsautomat

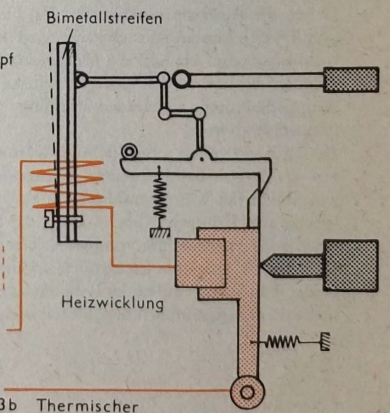


Abb. 3b Thermischer
Sicherungsautomat

LICHTBOGEN, BOGENLAMPE

Die elektrische Entladung in Gestalt eines Lichtbogens ist der Gasentladung verwandt, die in verdünnten Gasen stattfindet und den Grundvorgang in den Leuchtstofflampen (s. S. 134) bildet. Die Bogenentladung tritt auf, wenn man zwei Kohleelektroden bei mindestens 55 Volt Spannung in Kontakt bringt und sie dann etwa drei mm auseinanderzieht. Kurz bevor dabei der unmittelbare materielle Kontakt der Kohlen getrennt wird, treten so hohe Übergangswiderstände auf, daß die Spitzen der Kohlen zu glühen beginnen. Dabei wird – bei Gleichstrombetrieb an der Kathode, bei Wechselstrombetrieb an beiden Elektroden abwechselnd – eine glühelektrische Elektronenemission (s. S. 104) stattfinden, die bei den hohen Emissionstemperaturen (bis zu 4000° C) zu einer starken Ionisation der Luft führt. Durch diese zum Teil thermische Ionisation wird die Luft in unmittelbarer Umgebung der Kohleelektroden elektrisch leitend, so daß der Stromdurchgang auch nach Aufhebung der unmittelbaren Berührung der Elektroden gewährleistet ist. Durch das Elektronenbombardement kommt insbesondere die positive Kohle zur Weißglut (Kraterbildung; Brennfleck, an dem die Bogenentladung ansetzt). Im Lichtbogen selbst, der nur ein gelblich-violettes Leuchten zeigt, dissoziieren die Gasmoleküle der Luft. Sie haben ihre Elektronenhüllen zum Teil abgelegt und bilden ein Gemisch von positiven Ionen und Elektronen, das nach außen neutral wirkt und wegen seiner besonderen Eigenschaften als *thermisches Plasma* (Abb. 1) bezeichnet wird. Aus spektroskopischen Untersuchungen seines Dissoziationszustandes läßt sich die Temperatur dieses Gaszustandes bestimmen. Sie liegt im Lichtbogen zwischen 20000–50000° C. In der Bogenlampe benützt man den Lichtbogen als Lichtquelle, wobei das Licht weniger vom Bogen als von den glühenden Kohleelektroden (Abb. 2) geliefert wird (insbesondere vom positiven Krater bei Gleichstrombetrieb; Abb. 3). Wegen des Abbrandes der Kohlen bedarf die Bogenlampe dauernd der Nachregulierung, da bei einem zu großen Abstand der Elektroden der Lichtbogen abreißt. Man hat deshalb automatisch nachregulierende Bogenlampen konstruiert. Abb. 4 zeigt eine Bogenlampe mit Hauptschlußregulierung. Die Federn F_1 und F_2 sorgen dafür, daß sich im Ruhezustand die Kohleelektroden berühren. Beim Einschalten des Stromes ziehen die Elektromagneten (E_1, E_2) die Kohlen auseinander und zünden den Lichtbogen. Ist der Abbrand zu schwach, wird der Widerstand des Lichtbogens größer. Dadurch wird der Strom kleiner, die Elektromagnete werden schwächer und die Rückstellfedern bringen die Elektroden einander wieder näher. Diese Anordnungen finden sich noch in Kinoprojektoren, sie werden allerdings auch hier durch die Hochdruck-Gasentladungslampen verdrängt.

In den Elektroöfen wird die hohe Wärmeentwicklung der Bogenentladung zum Schmelzen (z. B. von Stahl) benützt. Bei elektrisch schlecht leitendem Schmelzgut verwendet man die starke Wärmestrahlung der zwischen zwei Kohlestäben übergehenden Bogenentladung zum Erhitzen (Abb. 5). Leitet das Schmelzgut die Elektrizität, so kann man entweder die Bogenentladung von den Kohleelektroden direkt zum Schmelzgut übergehen lassen (Abb. 6) oder die Elektroden unmittelbar in das Schmelzgut einführen (Abb. 7). In beiden Fällen trägt außer der hohen Wärmeentwicklung in den Elektroden die Entstehung von Stromwärme im Schmelzgut selbst zur Erreichung der Schmelztemperatur bei.

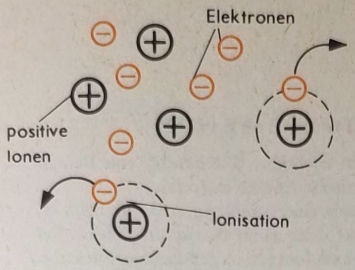


Abb. 1 Thermisches Plasma

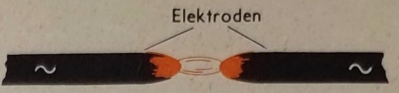


Abb. 2 Wechselstrombogen

Abb. 3 Gleichstrombogen

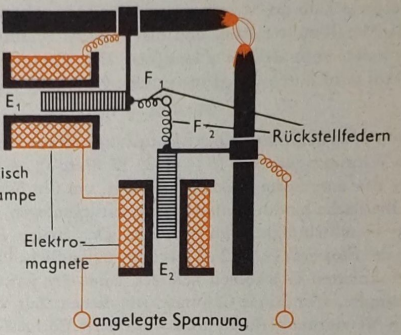


Abb. 4 Schema einer automatisch regulierenden Bogenlampe

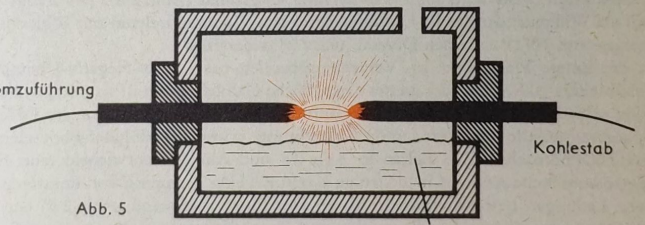


Abb. 5

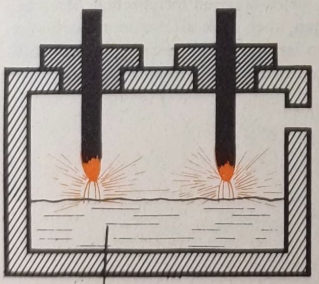


Abb. 6

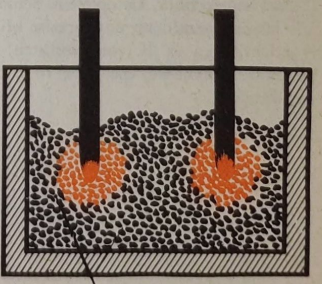


Abb. 7

PHOTOZELLEN, PHOTOELEMENTE

Der Funktionsweise von Photozellen, die z. B. ein wichtiges Bauelement von Belichtungsmessern (s. S. 210) bilden, liegen lichtelektrische Effekte zugrunde.

Den Elektronen im Metall kann man Energie mittels einer Strahlung, z. B. durch Licht, zuführen. Man nennt diesen Vorgang Photoeffekt oder lichtelektrischen Effekt. Bei diesem teilt sich die Energie eines Lichtquants dem am lockersten gebundenen Elektron eines Atoms mit (Abb. 1a). Je nachdem, ob diese Energie nun ausreicht, das Elektron zu befreien, aber innerhalb des Metalls zu belassen (Abb. 1b), oder ob sie es darüber hinaus befähigt, das Metall zu verlassen und ins Vakuum auszutreten (Abb. 1c), spricht man vom *inneren* oder vom *äußeren Photoeffekt*. Die Energiebilanz des photoelektrischen Elementaraktes wird durch die „Einsteinsche Gleichung" wiedergegeben:

$$h\nu = A + {}^1/_2\, m_e\, v^2$$

Hierin bedeuten: $h\nu$ die Energie der Lichtquants, mit der Frequenz ν des Lichtes und dem Planckschen Wirkungsquantum ($h = 6{,}62 \cdot 10^{-27}$ erg s), A die Austrittsarbeit, d. h. jene Energie, die das ausgelöste Elektron benötigt, um den Weg vom Orte der Auslösung durch die Oberfläche hindurch ins Vakuum zurückzulegen, m_e die Masse des Elektrons und v seine Geschwindigkeit im Vakuum. Der äußere Photoeffekt findet seine Anwendung in der *Photozelle* (Abb. 2a). Als lichtempfindliche Photokathode, die sich zumeist in einem evakuierten Glaskolben befindet, kann eine auf einer oxydierten Silberunterlage aufgedampfte, sehr dünne Cäsiumschicht dienen. Zur Vermeidung von Raumladungen und zur Verstärkung durch Ionisation einer Edelgasfüllung wird in den äußeren Stromkreis eine Batterie geschaltet.

Der innere Photoeffekt wird im *Photowiderstand* ausgenützt (Abb. 2b). Bevorzugt wird zur Zeit als Widerstandsmaterial Cadmiumsulfid bzw. Cadmiumselenid mit Widerstandsänderungen von 10^9:1 zwischen Dunkel- und Hellwiderstand.

Findet der innere Photoeffekt im Verarmungsbereich des Positiv-Negativ-Überganges eines Halbleiters (s. S. 112) oder an der Grenzfläche Halbleiter/Metall statt (Abb. 2c), so tritt eine selbständige photoelektrische Spannung auf, die sich äquivalent der Differenz der Spannungsabfälle in Sperr- und Flußrichtung erweist (Halbleiter-Photoelement, Sperrschicht-Photozelle). Die Zellen in Abb. 2a und Abb. 2c entwickeln eine EMK (= *e*lektro*m*otorische *K*raft, d. h. diejenige Kraft, die eine Trennung von negativen und positiven Ladungen bewirkt; Einheit: Volt). Der Photowiderstand (Abb. 2b) benötigt eine Hilfsspannung (Batterie). Photozellen und Photoelemente werden in der optischen Steuerungstechnik, als optische Schranken und in vielen anderen technischen Bereichen als hochempfindliche und präzise Meßvorrichtungen, aber auch als Stromversorgungsvorrichtungen (z. B. von Satelliten) verwendet. In letzterem Falle bevorzugt man Siliziumphotoelemente, die etwa 10% der absorbierten Lichtenergie in elektrische Energie umwandeln.

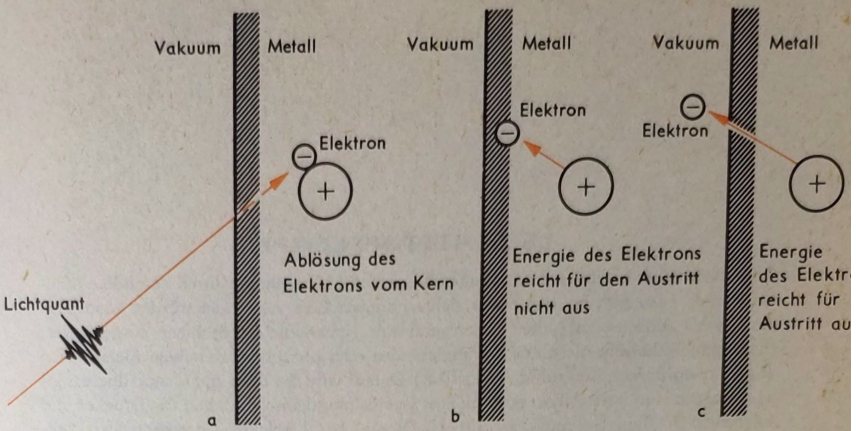


Abb. 1 Photoelektrischer Elementarakt

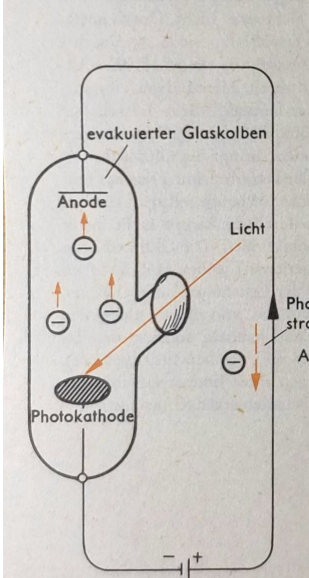


Abb. 2 a Äußerer Photoeffekt (Photozelle)

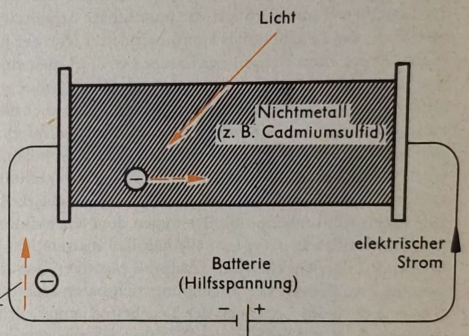


Abb. 2 b Innerer Photoeffekt (Photowiderstand, Photoelement)

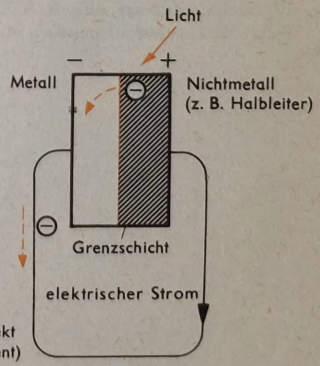
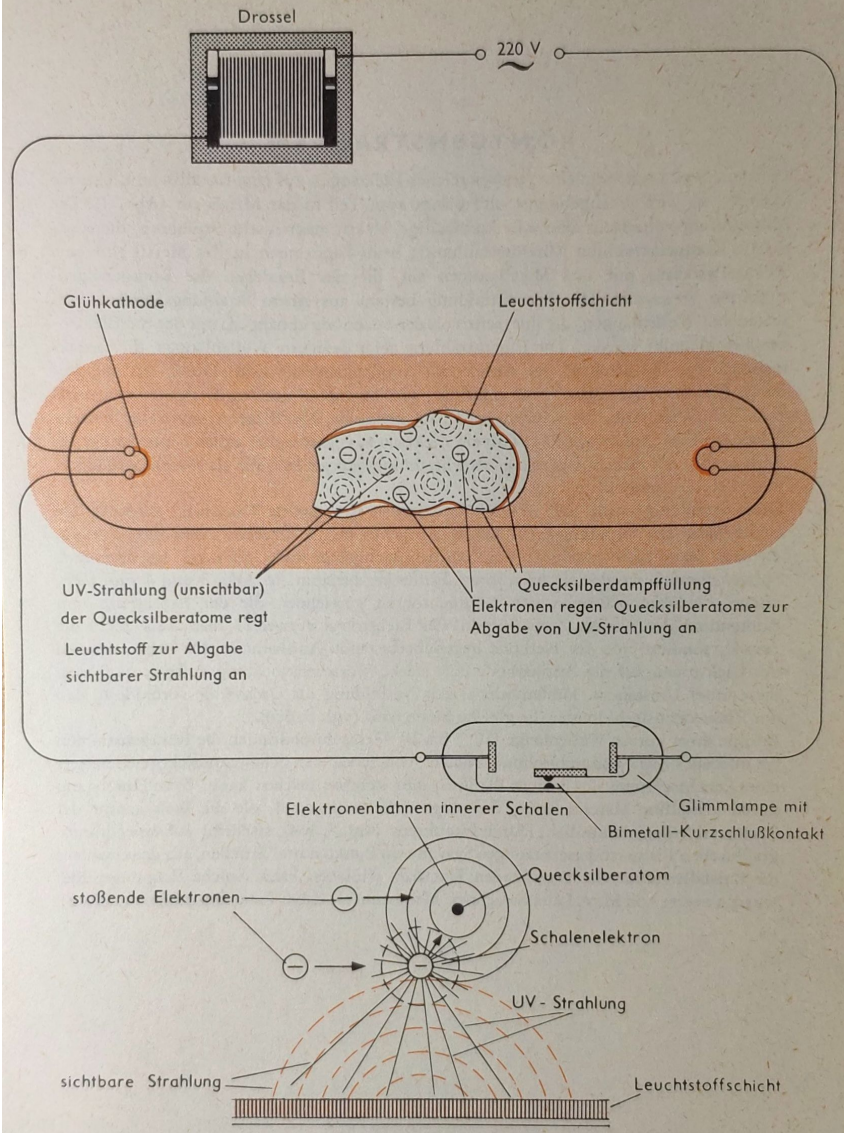


Abb. 2 c Sperrschicht-Photoeffekt
(Halbleiter-Photoelement)

LEUCHTSTOFFLAMPE

Die Leuchtröhre ist ein Gasentladungsrohr, dessen Lichtausbeute durch besondere Maßnahmen so gesteigert ist, daß es für Beleuchtungszwecke verwendet werden kann. Das Rohr wird zunächst auf seiner Innenwand mit einer Leuchtstoffschicht ausgekleidet; diese Schicht besteht meist aus fluoreszierenden oder phosphoreszierenden Metallsalzen (Calciumwolframat, Zinksulfid, Zinksilikat). Darauf wird das Rohr mit Quecksilberdampf von einigen Hundertstel Torr gefüllt (Torr ist eine physikalische Einheit des Druckes und entspricht 1/760 atm [=1 mm Quecksilber]). Die aus den Glühelektroden austretenden Elektronen (s. S. 104) regen durch Stoß die Quecksilberatome zur Ausstrahlung einer zu rd. 60% ultravioletten (UV-) Strahlung an, die unsichtbar ist. Der sichtbare Anteil des Quecksilberdampflichtes liegt im grünen und blauen Bereich des Spektrums (s. S. 164) und bildet ein fahles Licht. Die UV-Strahlung fällt auf den Leuchtstoff an der Innenwand der Röhre. Dieser absorbiert die Strahlung und emittiert dafür eine längerwellige Strahlung, d. h., der Leuchtstoff transformiert die unsichtbare Strahlung in sichtbares Licht. Durch geeignete Wahl des Leuchtstoffes kann man dem Licht der Leuchtstofflampe jede gewünschte Farbe geben. Zum Betrieb der Lampe benötigt man eine Drossel, die ein schädliches Anwachsen der Stromstärke verhindert und die Zündung vermittelt. Hierzu dient eine parallelgeschaltete kleine Glimmlampe mit einem thermischen Kontakt. Beim Einschalten zündet zunächst die Glimmlampe (bei offenem thermischen Bimetallkontakt). Dadurch wird der Bimetallstreifen erwärmt, schließt die Glimmlampe kurz, bringt die Glühkathoden zum Glühen und unterbricht wieder, weil er sich abkühlt. Die Unterbrechung erzeugt mittels der Drossel einen Spannungsstoß, der ausreicht, die Leuchtstofflampe selbst zu zünden. Die kleine Glimmlampe zündet wegen des Nebenschlusses durch die Lampe nicht mehr. Der Bimetallstreifen (vgl. S. 40) hält den thermischen Kontakt offen. Die Glühkathoden glühen infolge Rückheizung (Aufprall positiver Quecksilberionen) weiter und der oben geschilderte Prozeß der Erzeugung sichtbaren Lichtes in der Leuchtstofflampe hält an. Da es sich beim Leuchten der Leuchtstofflampe nicht um das von einem glühenden Körper (z. B. Glühdraht der Glühlampe) ausgesandte Licht handelt, sondern um das Anregungsleuchten von Atomen (des Quecksilberdampfes und der Leuchtstoffschicht), ist die Lichtausbeute außerordentlich wirtschaftlich. Wegen ihrer breiten Leuchtfläche liefern die Leuchtstofflampen ein angenehmes, nur weiche Schatten erzeugendes Licht.


Drossel
220 V
Glühkathode
Leuchtstoffschicht
UV-Strahlung (unsichtbar)
der Quecksilberatome regt
Leuchtstoff zur Abgabe
sichtbarer Strahlung an
Quecksilberdampffüllung
Elektronen regen Quecksilberatome zur
Abgabe von UV-Strahlung an
Elektronenbahnen innerer Schalen
Glimmlampe mit
Bimetall-Kurzschlußkontakt
Quecksilberatom
stoßende Elektronen
Schalenelektron
UV- Strahlung
sichtbare Strahlung
Leuchtstoffschicht

RÖNTGENSTRAHLEN

Trifft ein Strahl sehr schneller, energiereicher Elektronen auf eine metallische Elektrode (Anode), so wird er abgebremst und dringt zum Teil in das Metall ein (Abb. 1). Die Abbremsung verursacht eine sehr kurzwellige, elektromagnetische Strahlung, die sogenannte Röntgenstrahlung (Bremsstrahlung); beim Eindringen in das Metall tritt eine Wechselwirkung mit den Metallatomen ein, die das Entstehen der Röntgeneigenstrahlung verursacht. Die Bremsstrahlung besteht aus einem Strahlungsgemisch verschiedener Wellenlängen, die ihrerseits von der Spannung abhängen, mit der die Elektronen beschleunigt wurden. Die Eigenstrahlung zeigt definierte Wellenlängen, die charakteristisch für die Struktur der Atome des Anodenmaterials sind: Durch das energiereiche Elektron, das in das Atom eindringt, wird im Innern der den Atomkern umgebenden Elektronenhülle, die schalenförmig aufgebaut ist, ein Elektron aus einer inneren Schale gerissen; auf seinen Platz fällt ein Elektron aus einer weiter außen liegenden Schale (vgl. S. 20). Bei diesem Übergang wird Strahlungsenergie frei, die als Röntgenstrahlung in den Raum abgestrahlt wird.

Diese Strahlung wurde 1895 von W. C. Röntgen (Universität Würzburg) entdeckt. Da er die Natur der Strahlung nicht kannte, nannte er sie „X-Strahlen", eine Bezeichnung, die man heute noch häufig im englischen Sprachgebiet findet (X-rays). Im deutschen Sprachgebrauch werden sie nach ihrem Entdecker benannt. In Abb. 3 und 4 sind technische Ausführungsformen von Röntgenröhren gezeichnet, die der Erzeugung von Röntgenstrahlen dienen. Zum Aufprall der Elektronen verwendet man meist nicht die Anode, sondern eine der Kathode gegenüberliegende Antikathode. Da beim Aufprall der Elektronen auf die Antikathode eine starke Wärmeentwicklung auftritt, muß man diese unter Umständen kühlen oder durch Ausbildung als Drehanode verhindern, daß der Elektronenstrahl immer die gleiche Stelle trifft (vgl. S. 554).

Infolge ihrer kurzen Wellenlänge (10^{-8} bis 10^{-12} cm) durchdringen die Röntgenstrahlen für normales Licht undurchsichtige Objekte, von denen man Schattenprojektionen mittels eines Leuchtschirmes aus Barium-Platin-Cyanür sichtbar machen kann. Beim Durchgang durch kristalline Materie treten Beugungserscheinungen auf, die die Wellennatur der Röntgenstrahlung enthüllen. Durch Interferenz (vgl. S. 164) erscheint auf einer photographischen Platte ein gesetzmäßiges System von Punkten und Strichen, aus dem man auf die Kristallstruktur des betreffenden Materials schließen kann. Solche Beugungsbilder wurden zuerst von M. v. Laue berechnet. Man nennt sie daher Laue-Diagramme (Abb. 5).

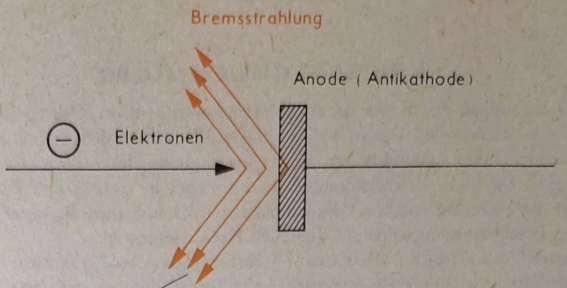


Abb. 1

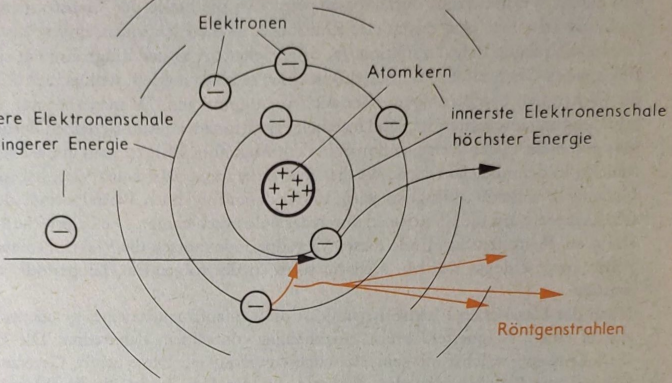


Abb. 2

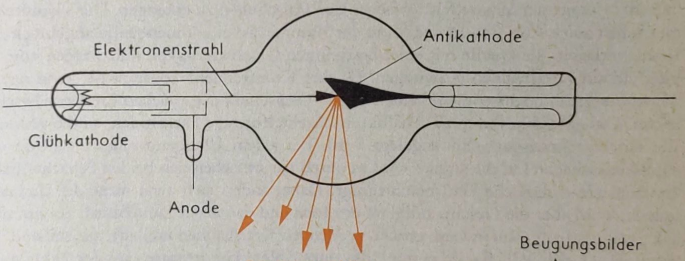


Abb. 3

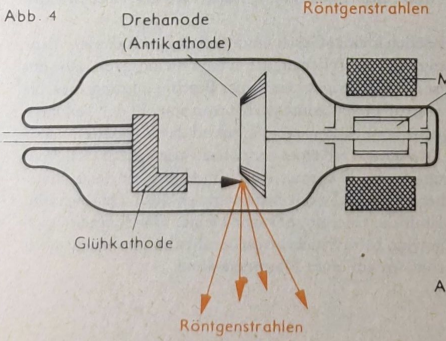


Abb. 4

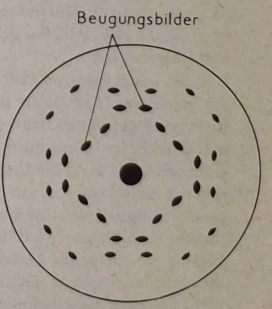


Abb. 5 Laue-Diagramm (Zinkblende)

KREISBESCHLEUNIGER

Für Untersuchungen des Baues der Atomkerne benötigt man „Geschosse" von hoher Energie. Als „Geschosse" eignen sich besonders Elementarteilchen; da die meisten von ihnen eine elektrische Ladung tragen, kann man sie durch elektromagnetische Felder beschleunigen. Da diese Beschleunigung in der Regel in einer Folge von Kreisbahnumläufen der Elementarteilchen vorgenommen wird, nennt man die unterschiedlich arbeitenden Beschleunigungsapparate allgemein Kreisbeschleuniger.

Das *Betatron* (Abb.1) ist im Aufbau einem Transformator (s. S. 122) ähnlich: Ein Eisenkern trägt eine Erregerwicklung (sie entspricht beim Transformator der Primärwicklung), die von einem Wechselstrom durchflossen wird. An die Stelle der Transformatorsekundärwicklung tritt hier eine evakuierte Ringröhre, in die Elektronen eingeschossen werden. Durch die magnetische Induktion (s. S. 92) entsteht in der Ringröhre ein ringförmiges elektrisches Wechselfeld (Wirbelfeld) in einer zum Magnetfeld senkrechten Richtung, das die Elektronen beschleunigen, aber auch verzögern kann. Da man aber nur an einer Beschleunigung interessiert ist, muß man beim Betatron im intermittierenden Betrieb arbeiten. Das geschieht in der Weise, daß man in dem Augenblick Elektronen in die Ringröhre einschießt, in dem die elektrische Wechselfeldstärke ihren maximalen Wert hat (das muß aus Gründen der Bahnstabilität so sein). In der darauffolgenden Viertelperiode der Wechselfeldstärke werden die Elektronen durch das Feld beschleunigt. Die Feldstärke nimmt dabei stetig ab. Spätestens am Ende dieser Viertelperiode müssen die Elektronen aus der Ringröhre ausgeschleust werden, weil sie sonst in der folgenden Halbperiode verlangsamt werden.

Nach der klassischen Elektrodynamik ist die Umlauffrequenz eines geladenen Teilchens, das in einem Magnetfeld kreist, unabhängig von seinem Bahnradius. Die Energie des Teilchens aber wächst mit seiner Bahngeschwindigkeit. Diese beiden Gesetzmäßigkeiten führten zur Konstruktion des *Zyklotrons*. In der Abb. 2 a ist die Beschleunigungskammer im homogenen Magnetfeld zwischen den Polschuhen zu erkennen. Die Vakuumkammer selbst zeigt Abb. 2 b. In der Mitte der Kammer ist eine Ionenquelle angebracht. Die Ionen verlassen die Quelle mit einer bestimmten Geschwindigkeit und werden vom Magnetfeld auf Kreisbahnen gezwungen. Da ihre Kreisfrequenz konstant ist, kann man die Ionen durch ein hochfrequentes elektrisches Wechselfeld der gleichen Frequenz beschleunigen. Das geschieht durch zwei halbkreisschachtelförmige Elektroden, an die von außen die Hochfrequenzspannung angelegt wird. Bei jedem Übergang eines Ions von einer Halbkreisschachtel in die andere wird es durch das zwischen den beiden Schachtelhälften herrschende elektrische Feld beschleunigt. Dabei ändert sich zwar nicht die Umlauffrequenz, wohl aber die Geschwindigkeit des Ions und damit der Bahnradius. So nimmt das Ion, während es in stufenweise größer werdenden Kreisbahnen umläuft, zunehmend mehr Energie auf. Schließlich wird es mit Hilfe eines Ablenkkondensators aus der Vakuumkammer ausgeschleust.

Während das Zyklotron Teilchen im Bereich kleiner Geschwindigkeiten beschleunigt, dient das *Synchrotron* (Abb. 3) der Beschleunigung von Teilchen, deren Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit liegt. Jedoch ist die Wirkungsweise beider Beschleunigungsmaschinen ähnlich. Im Unterschied zum Zyklotron bleibt beim Synchrotron sowohl der Teilchenbahnradius als auch die Umlauffrequenz zeitlich konstant, während das Magnetfeld, ähnlich wie beim Betatron, mit der Zeit anwächst. Daß trotz der nahezu konstanten Teilchengeschwindigkeit eine Energiesteigerung zustande kommt, ist nur mit Hilfe der Relativitätstheorie zu erklären: Wird die Teilchengeschwindigkeit nahezu gleich der Lichtgeschwindigkeit, so wächst die Masse (und damit die Energie) bei sehr kleiner Geschwindigkeitszunahme sehr rasch an. Der Energiegewinn beim Synchrotron beruht also im wesentlichen nicht auf einer Geschwindigkeits-, sondern auf einer Massenzunahme.

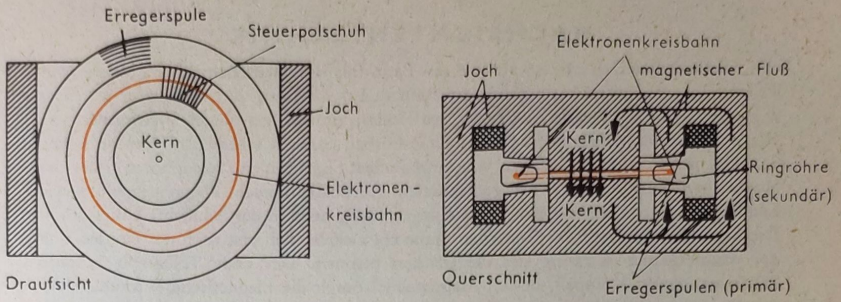


Abb. 1 Betatron

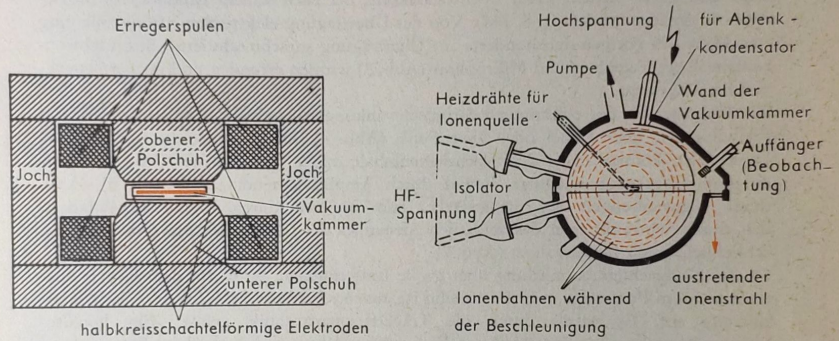


Abb. 2 Zyklotron

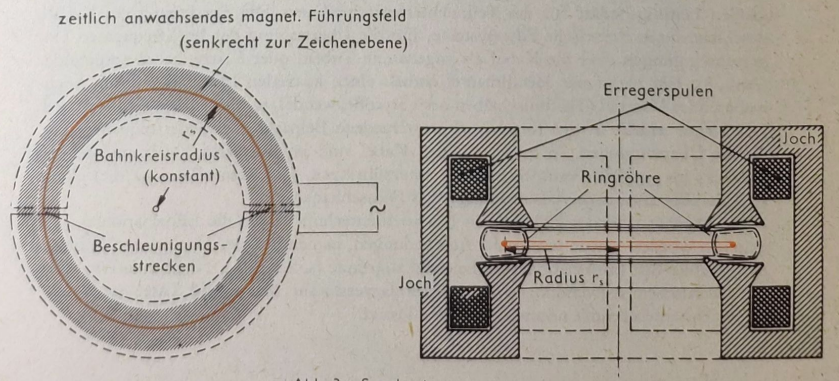


Abb. 3 Synchrotron

NACHRICHTENTECHNIK

Die Nachrichtentechnik ist so alt wie das Bedürfnis des Menschen, über größere Entfernung Informationen austauschen zu können. Im Altertum und Mittelalter waren es bevorzugt optische Signale in Gestalt von Feuern, die auf den oberen Plattformen von Türmen oder in seitlich angebrachten Feuerkörben entfacht wurden. Zu den optischen Signalen gehören auch Gruppen von beweglichen Signalarmen (Semaphoren) oder das Hochziehen und Senken von geflochtenen Korbbällen, auch Flaggensignale sowie Lichtsignale mit Scheinwerfern, wie sie gegenwärtig noch in der Schiffahrt üblich sind.
Die Nachrichtentechnik im modernen Sinne entwickelte sich erst nach der Entdeckung der magnetischen Wirkung des elektrischen Stromes. Der erste Telegraph bestand daher aus einem Kompaß, dessen Magnetnadel durch die magnetische Wirkung elektrischer Stromstöße abgelenkt wurde (Abb. 1). Einen weiteren Schritt in der elektrischen Nachrichtentechnik bedeutete die Erfindung des Morsetelegraphen (Abb. 2): Auf einen abrollenden Papierstreifen schreibt ein Schreibstift, der elektromagnetisch betätigt wird, lange und kurze Striche, einen Buchstabenkode, der nach seinem Erfinder das Morsealphabet genannt wird (vgl. S. 144). Von der Übertragung elektrischer Stromstöße ging man Mitte des vorigen Jahrhunderts zur Übertragung sprachmodulierter Stromschwankungen über: Telephon und Mikrophon (Abb. 3) wurden erfunden und im Fernsprechverkehr eingesetzt.
Die Übertragung der elektrischen Stromschwankungen geschieht dabei entweder über Freileitungen, über Kabel oder über Funk (Abb. 4). Die elektrischen Ströme bzw. Funkwellen können dabei den Nachrichteninhalt durch verschiedene Arten von Modulation aufgeprägt erhalten: einmal durch Amplitudenmodulation (Abb. 5), d. h. durch Schwankungen der Stromstärke, zum anderen durch Frequenzmodulation, d.h. durch Schwankungen des zeitlichen Abstandes der Nulldurchgänge (Abb. 6), oder schließlich durch Impulsfolgen (Abb. 7).
Da die Nachrichtenübermittlung über große Entfernungen, sei es auf dem Kabel- oder auch auf dem Funkwege, sehr kostspielig ist, tauchte bald das Problem der Vielfachausnützung auf. Es wurde durch die Trägerfrequenztechnik gelöst: Ein hochfrequenter Strom wird in verschiedenen Frequenzbereichen moduliert. Beim Fernsprechen wählt man für jeden Bereich eine Bandbreite von 3600 Hz, die erfahrungsgemäß zur Übertragung einer verständlichen Sprache ausreicht. Ein jeder dieser Bereiche gleicht einer Leitung und wird als Kanal bezeichnet. Das Frequenzband eines Fernsprechkanals kann man z. B. wiederum in 24 Telegraphiekanäle aufspalten; man deckt auf diese Weise den großen Leitungsbedarf für das Teilnehmerfernschreibnetz. Die Aussiebung der Kanäle geschieht durch elektrische Filtersysteme. Für die Übertragung der hochfrequenten Trägerschwingungen sind die Kabel als sogenannte Tuben- oder Koaxialkabel ausgebildet (Abb. 8): Ein biegsamer Metallmantel enthält einen koaxialen Leiter, der durch hochisolierendes Material (Trolitulscheiben oder Styroflexwendel) in seiner Lage gehalten wird. Das Kabel enthält in der Regel noch verschiedene Beipacks für niederfrequente, d. h. direkte Übertragungen. In einem solchen Kabel sind im koaxialen Leiter und in den Beipacks bis zu 2880 Fernsprechkanäle unterzubringen. Der Koaxialkern (Tube) eignet sich darüber hinaus zur Übertragung eines Fernsehkanals.
Neue Aspekte sind der elektrischen Nachrichtentechnik durch die Informationstheorie gegeben worden – neue technische Anwendungen, namentlich der Impulstechnik, liegen dem Gebiet der Informationsverarbeitung zugrunde (s. S. 370ff.). Nicht zuletzt werden die technischen Anwendungen der Molekularverstärker Maser und Laser (s. S. 108) die Nachrichtentechnik unserer Zeit beeinflussen.

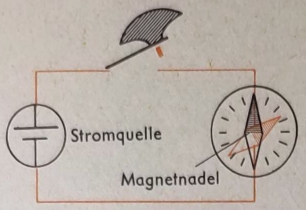


Abb. 1

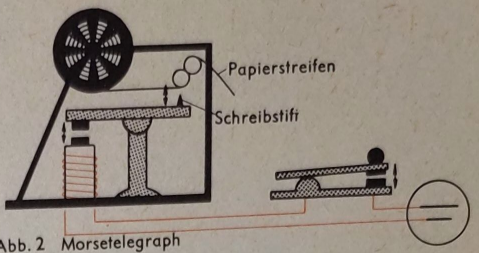


Abb. 2 Morsetelegraph

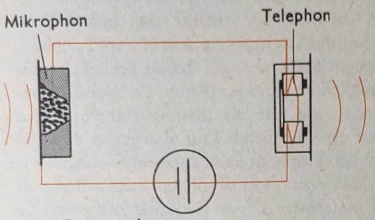


Abb. 3 Fernsprechen

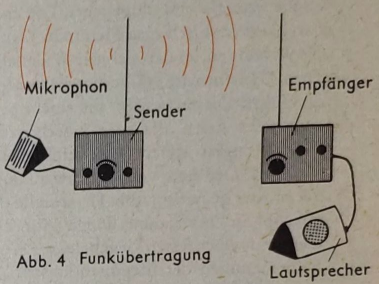


Abb. 4 Funkübertragung

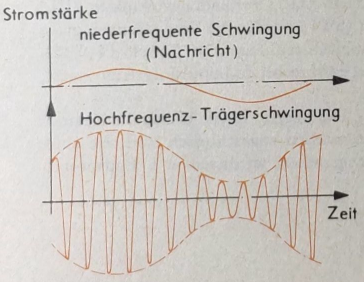


Abb. 5

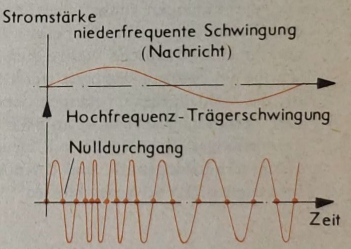


Abb. 6

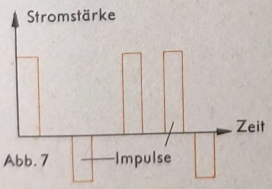


Abb. 7

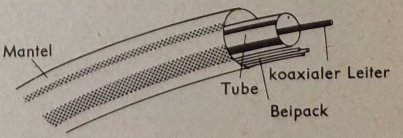


Abb. 8 Koaxialkabel (Tube)

TELEPHON UND FERNSPRECHVERMITTLUNG

Die Grundaufgabe des Fernsprechens besteht in der Umwandlung akustischer in elektrische Energie und umgekehrt. Die erste Aufgabe wird durch das Kohlemikrophon gelöst, bei dem durch eine Membran Kohlekörner mehr oder weniger stark zusammengedrückt werden, so daß sich der Widerstand im Rhythmus des Schalldruckes ändert. Über einen Transformator (Übertrager) werden die Stromschwankungen dem Hörer (Telephon) zugeführt. Dieser besteht aus einem permanenten Magneten, auf dessen Schenkeln Magnetspulen sitzen, die vom Sprechstrom durchflossen werden. Durch die Sprechstromschwankungen treten Magnetfeldschwankungen auf, die die Membran entsprechend bewegen. Dadurch werden Schwankungen auf die umgebende Luft übertragen und damit hörbar gemacht (Abb. 1). Anstelle des Kohlemikrophons kann auch ein Kondensatormikrophon Verwendung finden (Abb. 2). Die Membran bildet bei diesem empfindlicheren Gerät mit einer festen Gegenelektrode einen Kondensator, dessen Kapazität sich durch die Schwingungen der Membran ändert. Die angelegte Gleichspannung wird dadurch von einer Wechselspannung überlagert, die verstärkt wird.

Die Verbindung zweier Teilnehmer in Zentralbatterieschaltung zeigt Abb. 3. Die Verbindung im handvermittelten Dienst (Abb. 4) führt über verschiedene Amtsebenen (Ortsamt, Fernamt, Durchgangsfernamt, Fernamt, Ortsamt) zum gewünschten Teilnehmer. Die Verbindungen führen über Anschlußleitungen (AL), Verbindungsleitungen (VL) und Fernleitungen (FL). Im Selbstwählferndienst (SWF) werden die Verbindungen meist noch über mechanische Wählaggregate (Heb-Drehwähler) hergestellt. Durch die Wählscheibe am Fernsprechapparat werden den Zahlen entsprechende Impulsfolgen ausgelöst, die die Wählaggregate betätigen (Abb. 5 und 6).

Der Verbindungsaufbau ist im SWF sternförmig. Die oberste Ebene bilden die Zentralvermittlungsstellen, an die je 8 Hauptvermittlungsstellen angeschlossen sind. An einer Hauptvermittlungsstelle sind 8 Knotenvermittlungsstellen, an diesen je 8 Endvermittlungsstellen (EVSt) angeschlossen.

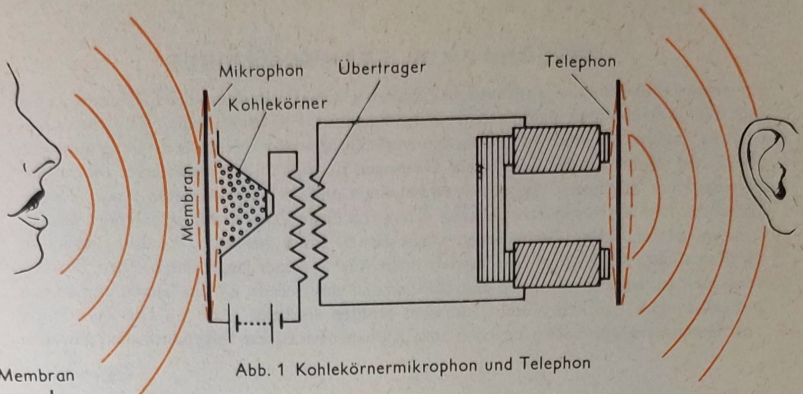


Abb. 1 Kohlekörnermikrophon und Telephon

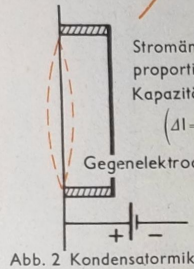


Abb. 2 Kondensatormikrophon

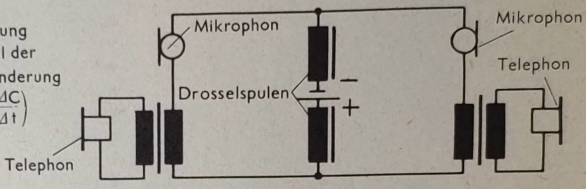


Abb. 3 Zentralbatterieschaltung

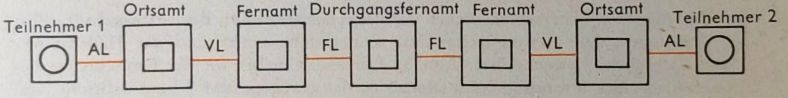


Abb. 4 Verbindung im handvermittelten Dienst

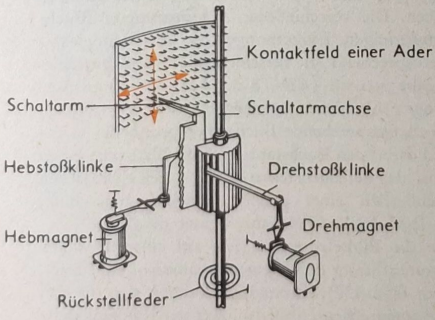


Abb. 5 Heb-Drehwähler (Viereckwähler)

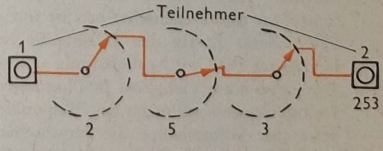


Abb. 6 Wähleraggregat für dreistufigen Verbindungsaufbau

TELEGRAPHIE, FERNSCHREIBER

Im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts gingen nach der Entdeckung des Elektromagnetismus die Bestrebungen dahin, seine Wirkungen für eine elektrische Nachrichtenübertragung nutzbar zu machen. Nach den verheißungsvollen Versuchen der Professoren Gauß und Weber an der Universität Göttingen im Jahre 1833 entwickelte Morse eine betriebssicher arbeitende Apparatur sowie einen praktisch verwertbaren Kode (Morsealphabet). Die Morseapparatur enthält einen von einer Vorratsrolle ablaufenden Papierstreifen, der an einem Farbrädchen vorbeigleitet. Im Ruhezustand berührt dieses den Streifen nicht, wird jedoch im Betrieb mehr oder weniger lange durch einen Elektromagneten an den Papierstreifen gedrückt, so daß eine Schrift, die aus langen und kurzen punktförmigen Strichen besteht, auf dem Streifen erscheint (Abb. 1). Die Zuordnung von Gruppen solcher Schriftzeichen zum Alphabet hat Morse folgendermaßen gewählt:

			Ziffern:
a ·–	j ·–––	t –	1 ·————
ä ·–·–	k –·–	u ··–	2 ··———
b –···	l ·–··	ü ··––	3 ···––
c –·–·	m ––	v ···–	4 ····–
ch ––––	n –·	w ·––	5 ·····
d –··	o –––	x –··–	6 –····
e ·	ö –––·	y –·––	7 ––···
f ··–·	p ·––·	z ––··	8 –––··
g ––·	q ––·–	å ·––·–	9 ––––·
h ····	r ·–·	é ··–··	0 –––––
i ··	s ···	ñ ––·––	

Punkt ·–·–·–	Komma ––··––	Doppelpunkt –––···
Bindestrich –····–	Apostroph ·————·	Klammer –·––·–
Fragezeichen ··––··	Anführungszeichen ·–··–·	Notruf: SOS ···———···

In den folgenden Jahrzehnten gingen die Bestrebungen dahin, Buchstabenschrift selbst zu übertragen. Die letzten technischen Entwicklungsstufen sind der Hellschreiber (Abb. 2) und der Fernschreiber (Abb. 3). Der Hellschreiber wie der Fernschreiber bedienen sich eines Stromstoß-Schrittalphabets, das aus insgesamt 7 bzw. 5 Strom- und Trennschritten aufgebaut ist. Der zeitliche Ablauf der Durchgabe der Schrittgruppen (beim mit Fünferkode arbeitenden Fernschreiber $^1/_7$ s/Gruppe) wird durch synchron beim Sender wie beim Empfänger umlaufende Sender- bzw. Empfangsnockenwellen mit je 7 Umdrehungen pro Sekunde gegeben. Die verschiedenen Schrittgruppen (Buchstaben) entsprechen verschiedenen zahnförmigen Einkerbungen in den Sendewählschienen, die sich dem Tastendruck entsprechend in verschiedener Weise verschieben und dadurch die Stromstoßdurchgabe steuern (Abb. 3 a). Auf der Empfangsseite werden in analoger Weise Empfangswählschienen so gegeneinander verschoben, daß nur der dem gesendeten Kodezeichen entsprechende Buchstabentypenhebel in die Einkerbungen der Schienen einrastet und damit den Buchstaben auf ein Blatt oder einen Streifen drucken kann (Abb. 3b). Der Anschlag der Buchstaben erfolgt durch elektrischen Antrieb. Der Fernschreiber gleicht äußerlich einer großen Büroschreibmaschine; Schreiben und Gegenschreiben ist mit dem gleichen Fernschreibgerät möglich.

Ein anderer Zweig der Telegraphie ist die Bildtelegraphie: Ein auf einer Trommel befestigtes Bild wird spiralförmig und punktförmig durch einen Lichtstrahl abgetastet. Das reflektierte Licht löst in Photozellen (s. S. 132) Stromschwankungen aus, die den Helligkeitsschwankungen der Bildpunkte entsprechen (Abb. 4 a). Auf der Empfangsseite setzt eine Glimmlampe die Stromschwankungen wieder in Helligkeitsschwankungen eines Lichtpunktes (P) um, der über die lichtempfindliche Schicht eines Photopapiers geführt wird (Abb. 4b).

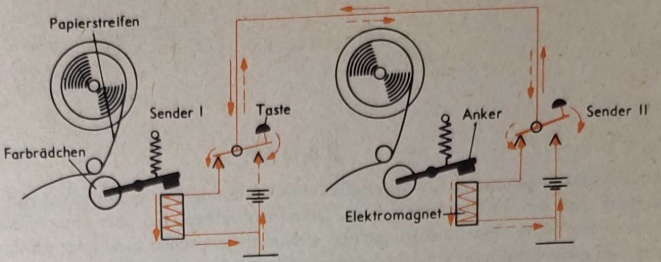
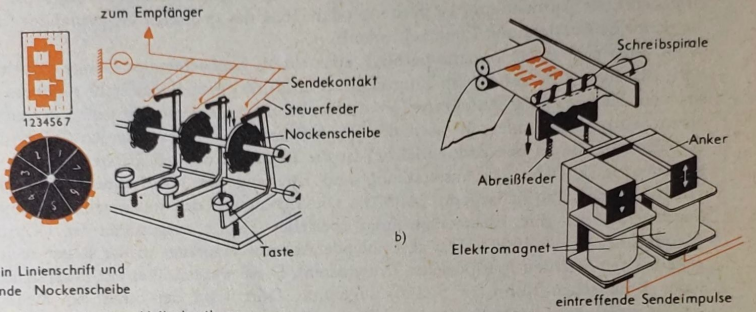


Abb. 1 Morsetelegraphie mit Arbeitsstrombetrieb



Buchstabe in Linienschrift und entsprechende Nockenscheibe

Abb. 2 Funktionsweise des Hellschreibers

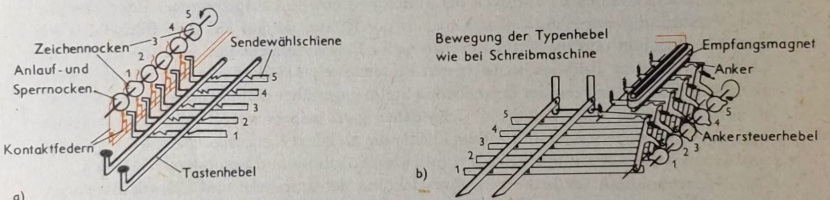


Abb. 3 Funktionsweise des Fernschreibers

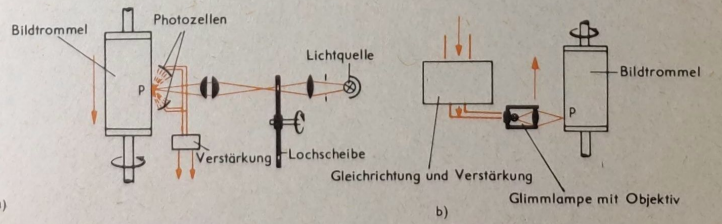


Abb. 4 Funktionsweise des Bildtelegraphen

RADAR

Unter Radar (Abkürzung für die englische Bezeichnung *Ra*dio *D*etecting *a*nd *R*anging) versteht man ein elektromagnetisches Echolotverfahren, bei dem eine Abtastung des Raumes mit Hilfe einer hochfrequenten elektromagnetischen Strahlung erfolgt. Überall dort, wo diese Strahlung auf Hindernisse stößt, wird sie mehr oder weniger stark reflektiert. Der reflektierte Strahl wird wieder empfangen. Er vermittelt durch seine Stärke und Richtung Informationen über den Gegenstand, der seine Reflexion verursacht: z. B. Angaben über Ausdehnung, Entfernung oder Höhe des georteten Gegenstandes (daher die deutsche Bezeichnung Funkmeßtechnik).

Wenn man sich einen Gesamtüberblick über ein zu beobachtendes Gebiet verschaffen will, läßt man z. B. von einem Flugzeug aus (Abb. 1) einen Radarstrahl rotierend ausstrahlen. Er bestreicht dann einen Kreisflächenbereich, aus dem er in jedem Augenblick einen Sektor ausleuchtet. Je nach der Beschaffenheit der reflektierenden Gegenstände (in diesem Falle an der Erdoberfläche) ist die Intensität des reflektierten Strahles verschieden stark (Abb. 2). Ausstrahlung und Empfang der hochfrequenten Strahlung vollziehen sich im Radargerät (Abb. 3). Die Erzeugung der Radarwellen erfolgt im Sendegerät, das mit Elektronenröhren spezieller Bauart ausgestattet ist (Klystron, Magnetron; vgl. S. 106ff.). Die abstrahlende Antenne empfängt in der Regel auch die reflektierten Strahlen (periodisches Umschalten). Diese werden über ein Empfangsgerät einer Braunschen Röhre (s. S. 156) zugeführt. Dort wird der Strahl so abgelenkt, daß er radial den Leuchtschirm vom Mittelpunkt zum Rand hin abtastet und sich gleichzeitig mit der Drehgeschwindigkeit der Antenne dreht. Ein aufgefangenes Echo bewirkt eine Verstärkung des Elektronenstromes in der Röhre, worauf auf dem Bildschirm ein Punkt aufleuchtet und bis zum Eintreffen neuer Echos nachleuchtet. So entsteht aus den Leuchtpunkten ein Bild des beobachteten Raumes; seine Helligkeitsverteilung ist jeweils vom Reflexionsvermögen der betreffenden Stelle gegenüber den hochfrequenten Schwingungen abhängig. Ein Radarbild sieht daher ganz anders aus als das entsprechende optische Bild, doch haben in der Regel beide die gleichen Konturen (Abb. 4). Das Lesen und Deuten der Radarbilder erfordert intensive Schulung und besonderes Geschick.

Das Radarverfahren verdankt seine Entwicklung den Impulsen und Erfordernissen des letzten Krieges. Inzwischen hat es auch einen weiten friedlichen Anwendungsbereich gefunden, z. B. im Flugsicherungsdienst, in der Schiffahrt und bei der Wetterbeobachtung.

Abb. 1

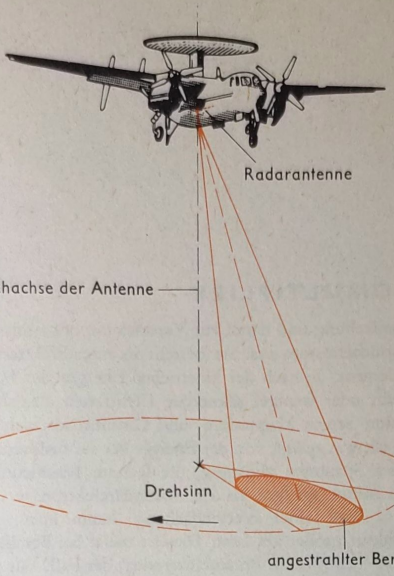


Abb. 2

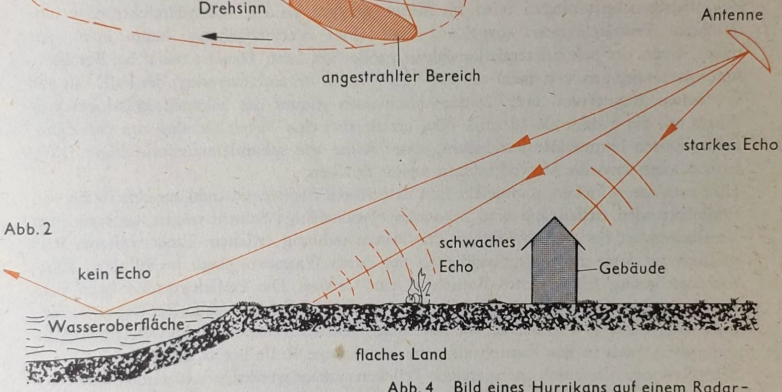


Abb. 3 Schema einer Radaranlage

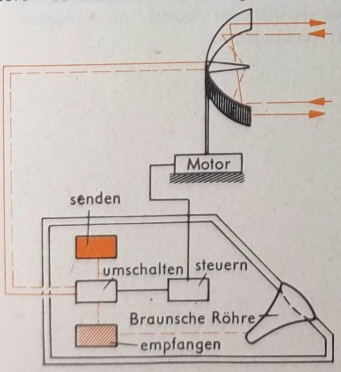
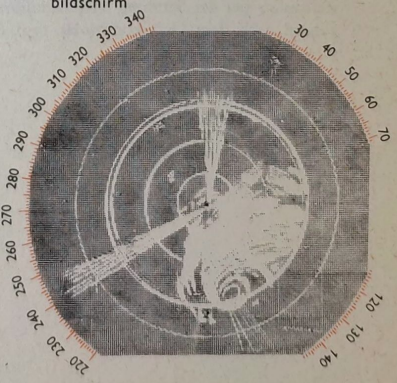


Abb. 4 Bild eines Hurrikans auf einem Radarbildschirm



PHOTOMULTIPLIER

Der Photomultiplier nutzt zur Vervielfachung und damit zur Verstärkung der Emission der Photokathode die Sekundärelektronenemission aus. Sie besteht in einer Elektronenauslösung durch Elektronenbombardement. Je nach der kinetischen Energie der bombardierenden Elektronen werden mehr oder weniger sekundäre Elektronen ausgelöst. Eine besonders hohe Sekundäremission zeigen Magnesium- und Cäsiumoxidschichten. Die Zahl der ausgelösten Elektronen ist, wie gesagt, von der Energie der sie auslösenden Primärelektronen und damit von der Spannung abhängig, die letztere beschleunigt. Bei niedrigen Spannungen wird im Mittel weniger als ein Sekundärelektron je einfallendes Primärelektron ausgelöst. Von einer Vervielfachung kann man erst reden, wenn der Sekundäremissionsfaktor größer als 1 ist. Dies ist meist bei Beschleunigungsspannungen von mehr als 100 Volt (für die Primärelektronen) der Fall. Für die erwähnten Magnesium- und Cäsiumoxidschichten nimmt der Sekundäremissionsfaktor Werte an, die größer als 10 sind. Man erzielt also eine Vervielfachung um das Zehnfache. Durch Hintereinanderschaltung einer Reihe von sekundäremissionsfähigen Elektroden kann man die Vervielfachung weiter erhöhen.

Läßt man den primären, photoelektrisch ausgelösten Elektronenstrahl auf eine Reihe von Prallelektroden treffen, die eine sekundäremissionsfähige Schicht tragen, so kann man Verstärkungen bis zum 10^9-fachen der Primärstrahlung erhalten. Einer weiteren Vervielfachung setzt die Unregelmäßigkeit der durch Wärmevorgänge beeinflußten Elektronenströmung (thermisches Rauschen) eine Grenze. Die Prallelektroden kann man als Netzelektroden ausbilden (Abb. 1) oder als Hohlelektroden (Abb. 2). Dabei bedient man sich, wenn es erforderlich ist, einer magnetischen Ablenkung (Abb. 3). Der Photomultiplier spielt in der Kernphysik eine bedeutsame Rolle bei der Registrierung von Szintillationen, die durch energiereiche Teilchen erzeugt werden; sonst wird er als höchst empfindliches Photometer vielfach gebraucht. In der Fernsehtechnik wird der Photomultiplier bei der Sendung von Kinofilmen und als wichtiger Bauteil von Aufnahmeröhren nach dem Orthikonprinzip (vgl. S. 154) verwendet.

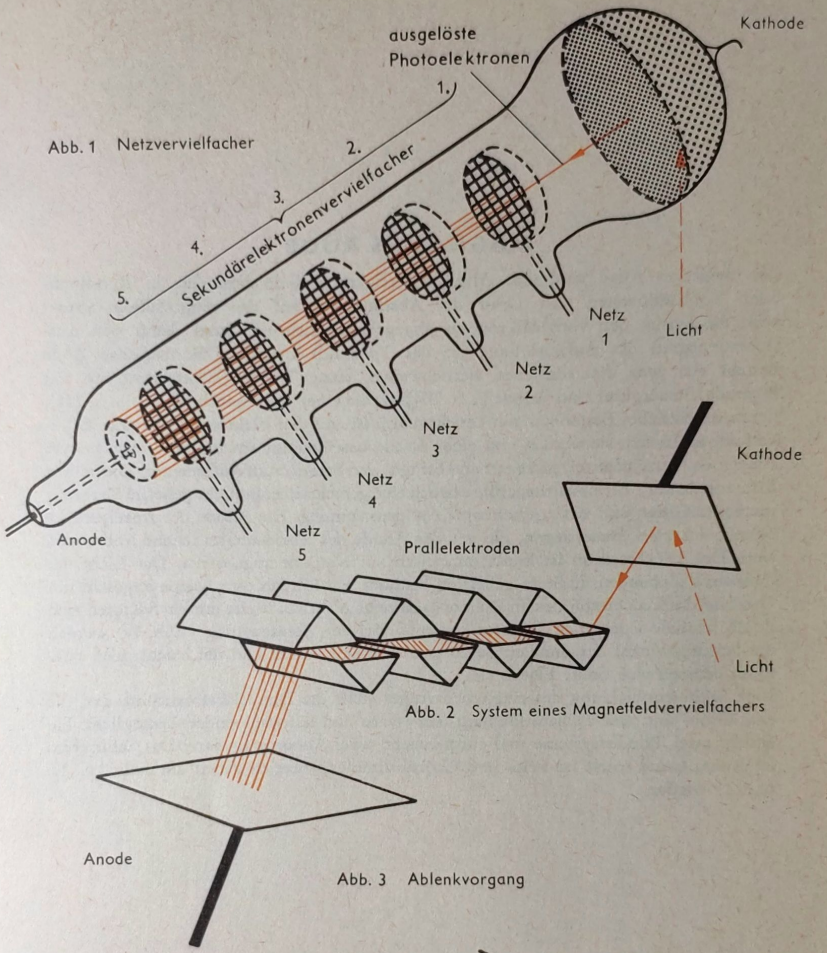
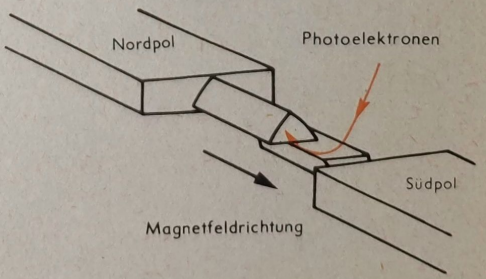


Abb. 1 Netzvervielfacher

Abb. 2 System eines Magnetfeldvervielfachers

Abb. 3 Ablenkvorgang



MAGISCHES AUGE

Als magisches Auge wird eine Abstimmanzeigeröhre bezeichnet, die in Rundfunk- oder Tonbandgeräten den Grad der Abstimmung auf den eingestellten Sender bzw. die Stärke der vom Mikrophon abgegebenen Leistung (und damit den Aussteuerungsgrad der Aufzeichnung auf das Tonband) anzeigt. Das magische Auge besteht aus zwei elektronischen Betriebsteilen, einer Triode (Elektronenröhre mit Kathode, Steuergitter und Anode [s. S. 104]) sowie einer Braunschen Röhre (s. S. 156), deren wesentlicher Bestandteil ein Leuchtschirm ist, auf den Elektronen aus einer Glühkathode auftreffen; sie werden von einer Anode beschleunigt sowie durch eine weitere Elektrode (Anzeigegitter) gesteuert und bringen den Schirm zum Aufleuchten. Die beiden Röhrenteile der Abstimmanzeigeröhre haben eine gemeinsame, indirekt geheizte Kathode, getrennte Gitter und eine gemeinsame Anodenspannung. Die Anode der Anzeigeröhre besteht aus zwei Steuerstegen, die mit der Anode des Triodenteiles leitend verbunden sind. Der Leuchtschirm ist kreissymmetrisch zur Kathode angeordnet. Das Licht der dunkelrot glühenden, indirekt geheizten Kathode wird durch eine Kappe abgeschirmt. Das Bild des Leuchtschirmes im Ruhezustand zeigt Abb. 1 b. Breite dunkle Sektoren sind durch schmale leuchtende Sektoren getrennt. Bei der Aussteuerung (Abb. 1 c) werden die Schattenwinkel der dunklen Sektoren zusammengedreht und die leuchtenden Sektoren nehmen eine breite Fläche ein.

Eine Weiterentwicklung des magischen Auges stellt die Doppelabstimmröhre dar, die eine Grob- und eine Feinabstimmung (für starke und mittlere Sender) ermöglicht. Sie enthält zwei Triodensysteme und entsprechend zwei Anodenstegpaare. Das Schirmbild im Ruhezustand sowie im Fein- und Grobabstimmungsbereich geben die Abb. 2 a, 2 b und 2 c wieder.

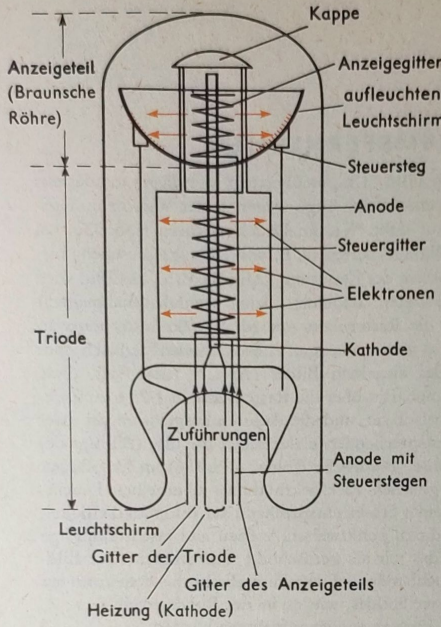


Abb. 1a Magisches Auge schematisch

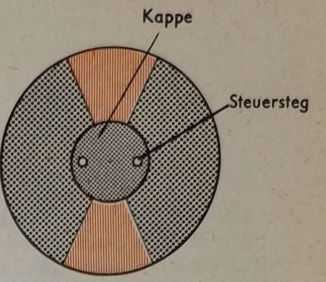


Abb. 1b Ruhezustand

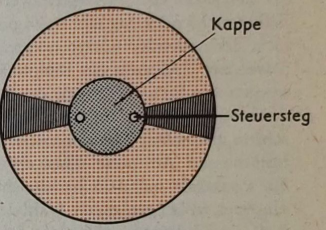
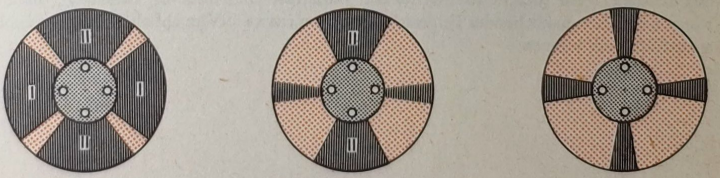


Abb. 1c Ausgesteuerter Zustand



a) Ruhezustand

b) Bereich I ausgesteuert (Sender mittlerer Stärke)

c) Bereich II ausgesteuert (starker Sender)

Abb. 2 Schirmbilder einer Doppelabstimmröhre

SCHWARZWEISSFERNSEHEN

Das Fernsehen bezieht sein Prinzip vom Film, d.h., es überträgt wie dieser mindestens 25 Bilder in der Sekunde, so daß das menschliche Auge wegen seiner Wahrnehmungsträgheit einen kontinuierlichen Bildablauf sieht. Wie im Druckverfahren (s. S. 532) bei der Wiedergabe von verschiedenen Helligkeitswerten (z. B. von photographischen Aufnahmen) bedient man sich zur Bildauflösung der Rasterung (Abb. 1), d.h., das Bild wird in eine sehr große Zahl von Rasterpunkten aufgelöst. Beim Fernsehaufnahmegerät (Ikonoskop, Abb. 2; s. S. 154) besteht die Rasterplatte aus rd. 500000 Rasterpunkten, die in diesem Falle mit mindestens ebenso vielen winzigen Photokathoden identisch sind. Entsprechend den Helligkeitswerten des einzelnen Bildes (Abb. 3) laden sich diese Zellen mehr oder weniger stark positiv auf. Ein über die Rasterplatte in 1/25 s im Zickzack dahineilender Elektronenstrahl entlädt sie, und die dadurch ausgelösten, in ihrer Stärke der Helligkeit der Bildpunkte entsprechenden elektrischen Impulse (Bildsignale) werden der Steuerelektrode der Bildröhre (Braunsche Röhre; s. S. 156) im Empfänger (Abb. 4) zugeleitet, wo sie einen im gleichen Zickzackrhythmus über einen Leuchtschirm gleitenden Elektronenstrahl in seiner Stärke entsprechend der Bildpunkthelligkeit beeinflussen. Auf diese Weise entsteht durch punktweisen Aufbau und rasche Bildfolge ein Punktbild auf dem Leuchtschirm, das wir als Fernsehbild wahrnehmen. Der Bildeindruck ist bei geeigneter Wahl des Leuchtstoffes auf dem Fernsehschirm – dem vorderen Teil der Bildröhre – der eines Schwarzweißbildes, wie es in der Bundesrepublik z. Z. rund 7 Millionen Teilnehmer mit ihren Fernsehgeräten aufnehmen können.

Der Bildinhalt (Abb. 5) der Bildsignale wird den Empfängern der Fernsehteilnehmer zugleich mit dem Ton durch Funk übermittelt. Die Übertragung vom Aufnahmeort bis zum örtlichen Funksender bedient sich aber nicht nur des Funk-, sondern auch des Kabelweges (Koaxialkabel, Tubenkabel). Wegen der Geradlinigkeit der Ausbreitung der hochfrequenten Fernsehwellen haben diese infolge der Erdkrümmung nur eine beschränkte (quasioptische) Reichweite. Es müssen daher im Abstand von rd. 80 km Fernsehsender stehen, um eine einigermaßen gleichmäßige Versorgung der Fernsehteilnehmer zu erreichen (Abb. 6). Die Empfänger entnehmen dem übertragenden elektromagnetischen Feld (der Fernsehwelle) den Bildinhalt mit Hilfe von Antennen, die als Haus- oder (bei ausreichender Feldstärke, d.h. von etwa 5 mV/m ab) als Zimmerantenne ausgeführt sein können.

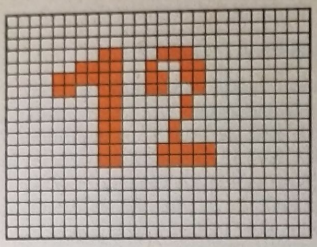


Abb. 1 Bildraster

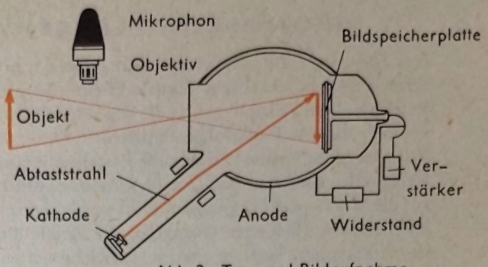


Abb. 2 Ton- und Bildaufnahme (Mikrophon und Ikonoskop)

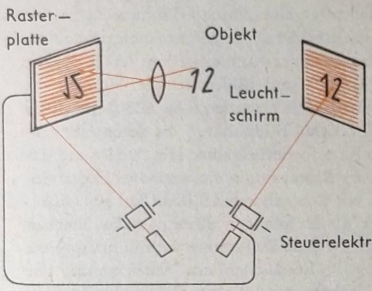


Abb. 3 Ikonoskop (Sender) und Braunsche Röhre (Empfänger) schematisch

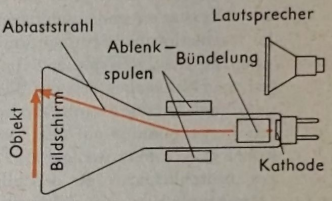


Abb. 4 Ton- und Bildwiedergabe (Lautsprecher und Braunsche Röhre)

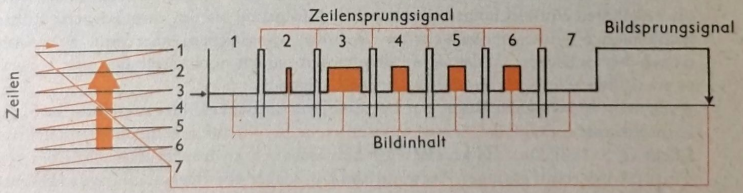


Abb. 5 Abtastung eines Bildes und entsprechende elektrische Signale

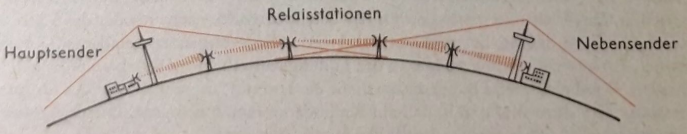


Abb. 6 Quasioptische Reichweite der Fernsehwellen erfordert Relaisstationen und Nebensender

IKONOSKOP (FERNSEHKAMERARÖHREN)

Das *Ikonoskop* ist die älteste vollelektronische Einrichtung zur Umwandlung eines optischen Bildes in elektrische Signale in einer Fernsehaufnahmekamera. Der wesentlichste Bestandteil des Ikonoskops ist die sog. Mosaikplatte. Sie dient der Auflösung des Bildes in eine gerasterte Punktfolge, ähnlich dem Raster bei der Herstellung einer Autotypie. Im Falle der Mosaikplatte bestehen die Rasterpunkte aus mikroskopisch kleinen Cäsium-(Cs-) Photozellen auf Silberoxid-(Ag_2O-)Unterlage. Mittels eines Objektivs wird der Gegenstand auf die Mosaikplatte abgebildet. Dort werden entsprechend den Helligkeitswerten photoelektrische Aufladungen erzeugt, da die Anode die ausgelösten Elektronen absaugt. Auf der Mosaikplatte entsteht ein den Helligkeitswerten des Bildes entsprechendes Ladungsrelief (Abb. 1). Dieses wird durch einen Elektronenstrahl, der in einem Ansatz erzeugt wird, zickzackförmig abgetastet und entladen. Die einzelnen Silberoxidbeläge bilden jeweils die eine Elektrode eines Kondensators, die durch eine dünne Glimmerschicht von der zweiten metallischen Belegung getrennt ist; diese bildet als gemeinsame Signalelektrode für alle Miniaturphotozellen den zweiten Belag winziger Kondensatoren (Abb. 2). Die Entladungen pflanzen sich als Impulse fort (Abb. 3) und bilden so die Signale, die einem Verstärker und anschließend einem Sender zugeleitet werden. Das 625-Zeilen-Bild der internationalen Fernsehnorm besteht aus rd. 500000 Bildpunkten, zu deren Übertragung Impulsfolgefrequenzen von rd. 10 Megahertz erforderlich sind. Die Auflösung des örtlichen Nebeneinanders der Bildpunkte durch die Rasterung in ein zeitliches Hintereinander muß zusammen mit dem im Gleichschritt vor sich gehenden Bildaufbau aus einzelnen Leuchtpunkten auf dem Leuchtschirm der als Empfänger dienenden Braunschen Röhre (s. S. 156) in weniger als 1/25 s geschehen, da diese Zeitspanne die Flimmergrenze des menschlichen Auges darstellt, dem auf diese Weise das zeitliche Nacheinander der Leuchtpunktfolge als gleichzeitiges, örtliches Nebeneinander eines Bildeindruckes erscheint.

Die Weiterentwicklung der Fernsehsenderöhre hat den Ersatz der Mosaikplatte durch eine dünne, halbleitende Schicht gebracht (z. B. Arsentrisulfid), die durch ihre geringe Leitfähigkeit eine Rasterung entbehrlich macht. Weiterhin hat man die Fernsehsenderöhre mit einem Bildwandler (s. S. 158) oder auch einem Sekundärelektronen-Vervielfacher (s. S. 148) kombiniert und auf diese Weise höhere Empfindlichkeiten erreicht. Für die erwähnten Entwicklungsstufen haben sich folgende Namen eingebürgert: Röhre mit halbleitender Widerstandsschicht = *Resistron;* desgleichen, aber mit Sekundärelektronen-Vervielfacher = *Orthikon;* desgleichen jedoch noch zusätzlich mit vorgeschaltetem Bildwandler = *Superorthikon* (Image-Orthicon).

Auch das *Vidikon* ist eine Röhre zur Umwandlung optischer Bilder in elektrische Signale in Fernsehaufnahmekameras. Seine Funktionsweise beruht auf dem inneren lichtelektrischen Effekt (s. S. 132). Das Vidikon ist träge bei raschem Szenenwechsel (Nachziehen von Bildern), erfordert nur geringen Aufwand und wird daher vorwiegend im Industriefernsehen, bei der Verkehrsüberwachung usw. eingesetzt. Beim Vidikon wird der Gegenstand optisch auf eine dünne Glasplatte abgebildet, deren Rückseite mit einer durchsichtigen Aluminiumschicht belegt ist, die über den Signalwiderstand eine geringe positive Spannung erhält. Auf die Aluminiumbelegung wird eine dünne Halbleiterschicht (z. B. Selen) aufgedampft. Im unbelichteten Zustand ist diese Schicht fast ein Isolator, im belichteten ist sie leitfähig. Ein Elektronenstrahl erteilt der Selenoberfläche nacheinander das Kathodenpotential Null, so daß die Selenschicht mit der Metallisierung einen geladenen Kondensator bildet. Erneute Abtastung ändert an der Ladungsverteilung nichts, da unbelichtetes Selen isoliert. Wird eine Stelle belichtet, so fließt die Ladung langsam ab. Bei der nächsten Abtastung wird diese Stelle plötzlich auf Kathodenpotential gebracht. Dieser Stromstoß erzeugt das gewünschte entsprechende elektrische Bildsignal.

Abb. 1 Ansicht des Ikonoskops

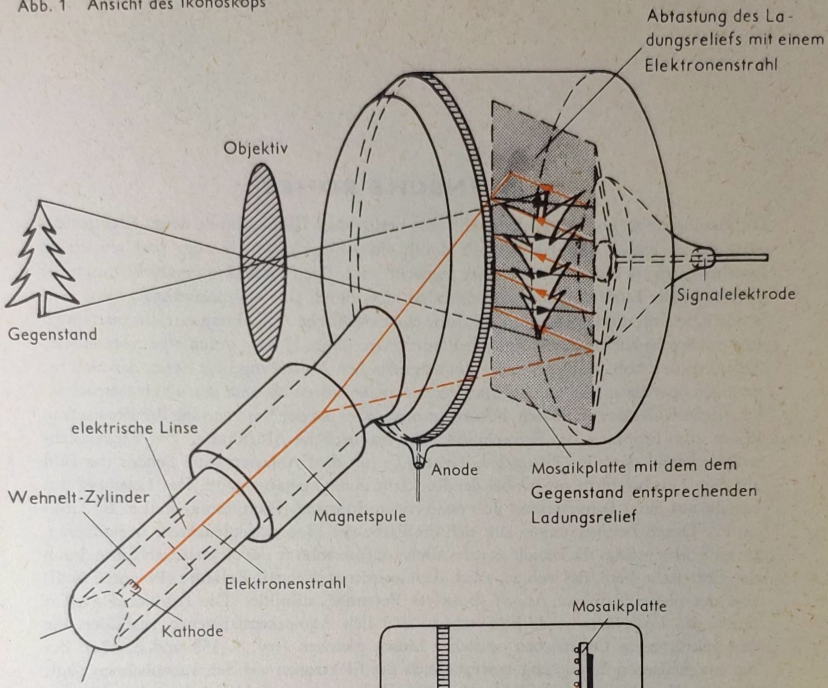
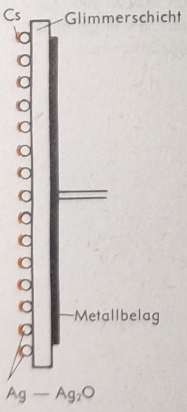


Abb. 2 Mosaikplatte



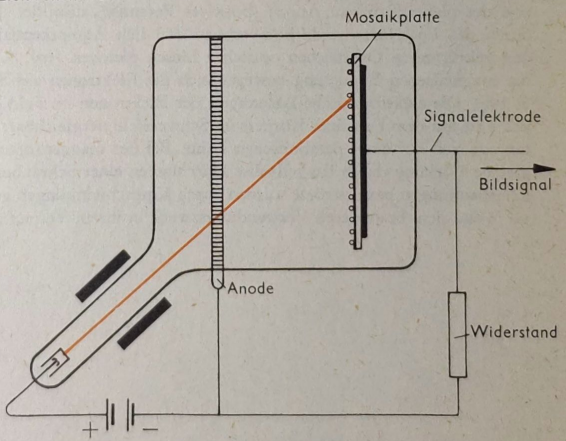


Abb. 3 Schaltschema des Ikonoskops

BRAUNSCHE RÖHRE

Die Braunsche Röhre (Kathodenstrahlrohr) besitzt eine Glühkathode, deren Elektronenemission zu einem Strahl gebündelt durch ein Ablenksystem bewegt und auf einem Leuchtschirm als Lichtpunkt sichtbar gemacht wird. Die Bündelung geschieht durch die als elektrische Linse wirkenden Elektroden bzw. durch eine als magnetische Linse wirkende Konzentrationsspule (Abb. 2). Eine elektrostatische Ablenkung erreicht man durch zwei senkrecht zueinander stehenden Plattenpaare (Abb. 1) oder durch eine magnetische Ablenkspule (Abb. 2). Der Vorzug der magnetischen Ablenkung liegt darin, daß sich bei geringer Spannung größere Ablenkwinkel erzielen lassen als mit der elektrostatischen. Um flachere Geräte zu erhalten, bevorzugt man daher bei der Verwendung der Braunschen Röhre zum Empfang des Fernsehbildes die magnetische Ablenkung. Der Elektronenstrahl schreibt dann im Zickzack-Gleichschritt mit dem Abtasten beim Sender das Bild auf dem Leuchtschirm auf, wobei der Rücklauf dunkel getastet wird. Der Leuchtschirm besteht aus einer feinverteilten fluoreszierenden Substanz (Hauptbestandteil z. B. Zinksulfid). Durch Beimengungen läßt sich die Farbe des Fluoreszenzleuchtens beeinflussen. Im einzelnen erfolgt die Bündelung des Elektronenstrahles in der elektrischen Linse durch das elektrische Feld, das sich zwischen dem geerdeten Wehnelt-Zylinder (Potential Null) und der plattenförmigen Anode (positives Potential) ausbildet. Die Feldlinien greifen durch das Loch der Anode hindurch, so daß sich Äquipotentialflächen ausbilden, die den gekrümmten Oberflächen optischer Linsen gleichen (vgl. S. 158 und S. 174). Bei der magnetischen Bündelung bewegen sich die Elektronen auf Schraubenbahnen (vgl. S. 106). Die elektrostatische Ablenkung der Elektronen im Feld der doppelten Plattenpaare ist mit dem Fall eines Körpers im Schwerefeld vergleichbar. Das einzelne Elektron bewegt sich auf einer parabolischen Bahn. Bei der magnetischen Ablenkung wird die gleiche Wirkung durch das teilweise Durchlaufen einer Schraubenbahn erzielt. Die Ablenkspannungen bzw. -ströme werden durch Kippschwingungen geliefert, die in geeigneter Weise dem besonderen Verwendungszweck in ihrem Verlauf angepaßt werden.

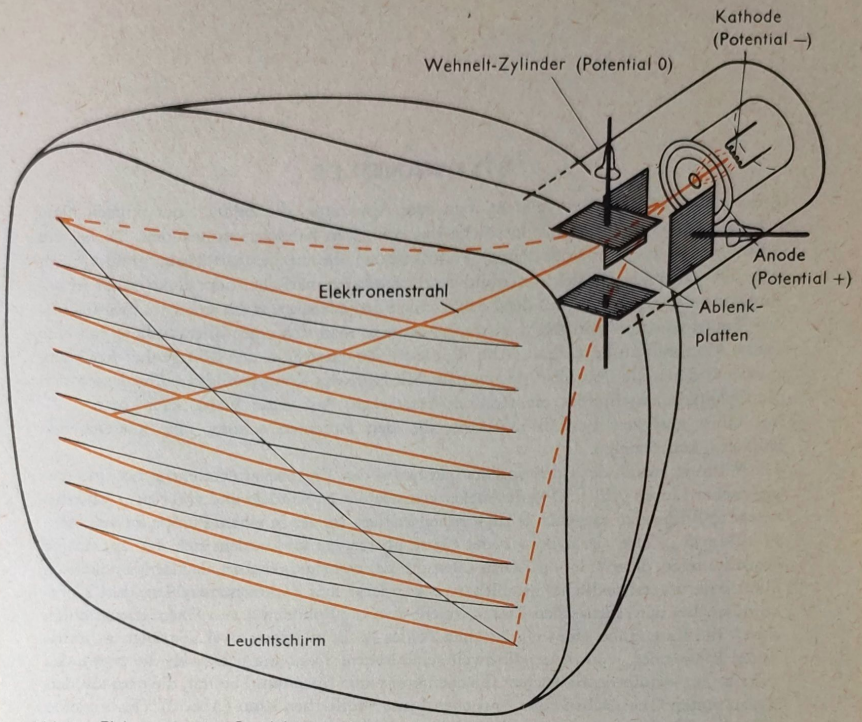


Abb. 1 Elektrostatische Bündelung und Ablenkung in der Braunschen Röhre

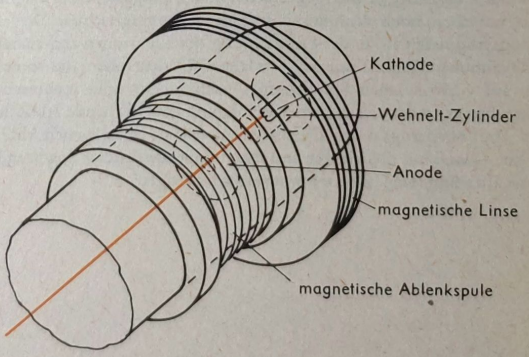


Abb. 2 Vorrichtungen für die magnetische Bündelung und Ablenkung

BILDWANDLER

Unter einem Bildwandler versteht man eine Apparatur, die Bilder einer optisch nicht wahrnehmbaren Strahlungsart in solche des optischen Bereiches umwandelt. Sie besteht (Abb. 1) im Prinzip aus einer dünnen Photokathode, die auf die unsichtbare Strahlung reagiert. Das entstehende Elektronenbild wird mittels magnetischer oder elektrischer Abbildungslinsen (Abb. 2 und 3) auf den Leuchtschirm projiziert, wo es das sichtbare Bild auslöst. Zur Transformation von Röntgenstrahlen bedient man sich eines Bildwandlers, der eine dünne Aluminiumfolie enthält (Abb. 4), die auf der einen Seite den Röntgenleuchtschirm, auf der anderen die Photokathode enthält. Mit Hilfe des Röntgenbildwandlers lassen sich die Originalschattenbilder elektronisch verstärken. Auf diese Weise kann man z. B. mit einer geringen Bestrahlungsdosis, die den Patienten schont, eine ausreichende Bildhelligkeit erzielen.

Die Wirkungsweise des Bildwandlers beruht auf den Eigenschaften elektrischer und magnetischer Linsen (vgl. S. 174), die Elektronenstrahlen zu bündeln und von einem (elektronischen) Bildpunkt ausgehende Elektronenstrahlen wieder in einem Punkte zu vereinen. Der Begriff „Linse" ist dabei aus der Optik übertragen und bezieht sich auf apparative Anordnungen, die mit der optischen Linse nur das gemeinsam haben, daß sie (physikalisch allerdings unterschiedliche) Strahlenarten bündeln: hier Elektronenstrahlen, dort Lichtstrahlen. Bei der elektrischen Linse erreicht man die Bündelung von Elektronenstrahlen durch die Erzeugung eines elektrischen Feldes (z. B. zwischen zwei koaxialen zylindrischen Elektroden, von denen die zweite eine höhere Spannung besitzt als die erste), das gekrümmte Äquipotentialflächen (Flächen konstanter Spannung) besitzt, die man mit den gekrümmten Oberflächen einer optischen Linse vergleichen kann (Abb. 2). Das einzelne Elektron führt Schwingungen mit beim Fortschreiten in Richtung der Zylinderachsen abklingender Amplitude (Schwingungsweite) aus. Der aus vielen Elektronen bestehende Elektronenstrahl nimmt daher die Form eines sich verjüngenden Schlauches an (wie etwa bei einer Windhose), er wird gebündelt. Die Wirkungsweise der magnetischen Linse (Abb. 3) ist im einzelnen noch weniger mit der einer Linse vergleichbar. Die Elektronen beschreiben im longitudinalen (d. h. der Flugrichtung der Elektronen angenähert parallelen) Magnetfeld Schraubenbahnen; nur der Tatsache, daß Elektronen, die von einem Punkt ausgehen, sich auf verschiedenen Spiralbahnen nach einem oder mehreren Umläufen wieder in einem Punkt treffen, ist der einer Bündelung entsprechende Abbildungseffekt zuzuschreiben. Man bevorzugt magnetische Linsen, weil sie den gleichen Abbildungseffekt wie elektrische Linsen mit niedrigerer und damit ungefährlicherer Spannung erreichen lassen, wozu sie allerdings eine höhere Stromstärke benötigen.

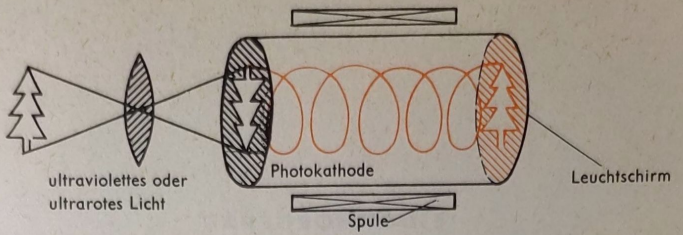


Abb. 1 Prinzip des Bildwandlers

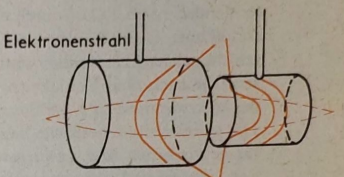


Abb. 2 Elektrische Linse

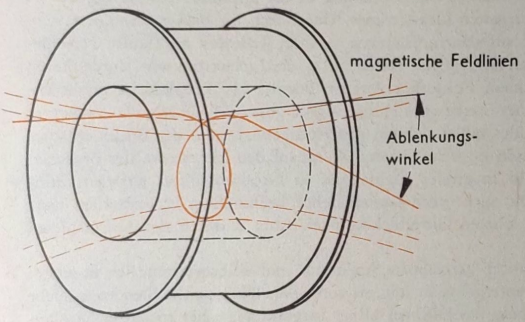


Abb. 3 Magnetische Linse

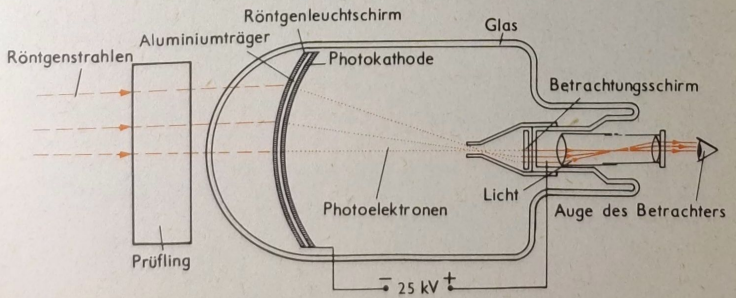


Abb. 4 Röntgenbildwandler (schematisch)

EIDOPHORGERÄT

Das Eidophorgerät nach Fischer (Zürich) dient der Großprojektion von Fernsehübertragungen. Im Gegensatz zum normalen Fernsehbild (s. S. 152), das seine Lichtstärke aus dem Fluoreszenzleuchten des Leuchtstoffes eines von Elektronen beschossenen Bildschirmes bezieht, wird beim Eidophorgerät der Lichtstrom einer sehr starken örtlichen Lichtquelle durch das Fernsehsignal gesteuert. Der von einer Bogenlampe ausgehende (beim Farbfernsehen durch ein Farbfilterrad tretende) Lichtstrom wird durch zwei Gitterblenden (Abb. 1), die durch einen Gitterspiegel mit versilberter Rückseite ersetzt werden können (Abb. 2), über einen Ölfilm und durch ein Projektionsobjektiv auf den Bildschirm gelenkt. Der Ölfilm wird durch einen vom Fernsehsignal gesteuerten Elektronenstrahl je nach dem Helligkeitswert des Signals verschieden stark aufgeladen. Aufgrund der elektrostatischen Abstoßungskräfte wird er dadurch unterschiedlich stark gekrümmt. Die gekrümmte Oberfläche bewirkt eine Änderung in der optischen Abbildung des an ihr gebrochenen bzw. gespiegelten Lichtstromes. Das durch die Balken des Gitterspiegels reflektierte Licht wird auf seinem Rückweg von der Reflexion am Ölfilm verschieden stark durch die Spalten des Spiegels treten, d. h., der Lichtstrom wird durch diesen Effekt, den man nach seinem Entdecker August Toepler als Toeplersche Schlierenmethode bezeichnet, in seiner Stärke vom Fernsehsignal gesteuert. Durch die Abtastung mittels des Elektronenstrahles bildet sich ein den Helligkeitswerten des Bildes entsprechendes Ladungsrelief, dessen optische Steuerwirkung auf den Lichtstrom der örtlichen Lichtquelle das Fernsehbild in großer Lichtstärke in Großprojektion auf dem Bildschirm erscheinen läßt. Die nicht vom Ladungsrelief beeinflußten Lichtstrahlen werden nach Abb. 1 von der oberen Gitterblende, nach Abb. 2 durch den Gitterspiegel zurückgehalten.

Die in der Abb. 2 schematisch gezeichnete Apparatur muß selbstverständlich in einem hochevakuierten Behälter untergebracht sein, da sonst die elektronische Steuerung nicht möglich wäre. Die Aufladung des Ölfilmes klingt langsam ab, daher rotiert er langsam unter dem steuernden Elektronenstrahl hinweg; eine Glättungsschneide sorgt für eine frische, einwandfrei entladene und glatte Oberfläche, ehe der Ölfilm wieder in den Bereich des Elektronenstrahles tritt.

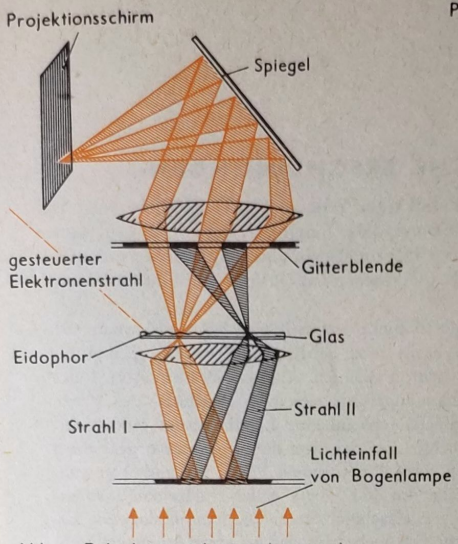


Abb. 1 Eidophorprojektion schematisch

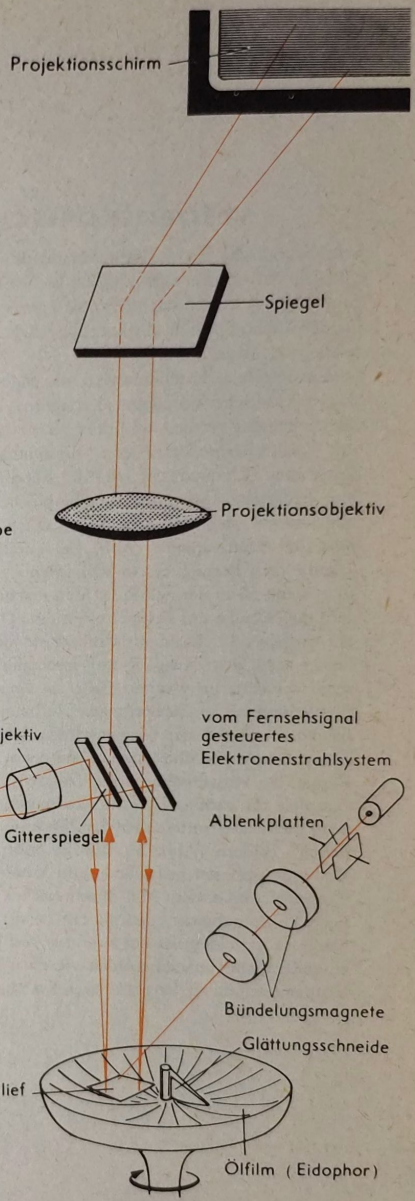


Abb. 2 Eidophorapparatur

STROBOSKOPISCHE ERSCHEINUNGEN

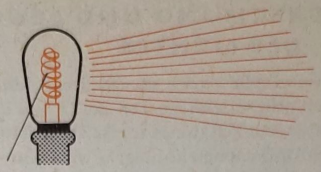
Stroboskopische Erscheinungen sind physiologisch bedingt. Das menschliche Auge ist träge, so daß es zwei verschiedene Lichtimpulse, die es innerhalb einer kurzen Zeitspanne (unter $^1/_{10}$ s) erreichen, nicht mehr trennt: Es baut aus einzelnen kurz nacheinander folgenden Lichtimpulsen ein kontinuierliches Geschehen auf (Prinzip von Film und Fernsehen; vgl. Abb. 2 und 3).

Stroboskopische Erscheinungen im engeren Sinne treten immer dann auf, wenn sich zwei periodische Vorgänge überlagern, die in ihrem zeitlichen Ablauf nur geringfügig gegeneinander versetzt sind oder aber synchron ablaufen. Als Beispiel ist in Abb. 1 eine mit Wechselstrom betriebene Glimmlampe angeführt, deren im Rhythmus des Wechselstromes (Frequenz 50 Hz, 100 Maxima/s) schwankende Lichtintensität (100 Lichtimpulse/s) eine rotierende Scheibe beleuchtet, auf der zwei dunkle Sektoren gezeichnet sind. Dreht sich die Scheibe zwischen zwei Lichtmaxima (Abb. 1a und 1c) während der Dunkelpause (Abb. 1b) gerade um 180° (eine halbe Umdrehung), so erscheint dem Betrachter ein stillstehender zweizackiger Stern. Die Umdrehungszahl beträgt dann 50 in der Sekunde. Man macht sich leicht klar, daß bei etwas kleinerer Drehzahl der Scheibe der Doppelsektor eine Drehung entgegen dem Umlaufsinn der Scheibe, bei größerer Drehzahl im Umlaufsinn der Scheibe zeigen wird. Denn im ersten Falle hat er seine dem Ausgang entsprechende Stellung beim nächsten Lichtmaximum noch nicht erreicht, im zweiten Falle sie aber schon überschritten. Solche stroboskopische Erscheinungen beobachtet man z. B. beim Abspielen eines Filmes, wenn die Bildwechselfrequenz sich mit der Drehgeschwindigkeit eines Speichenrades oder einer Raupe eines Kettenfahrzeuges überlagert. Dann sieht man ein sich rückwärts drehendes Rad (bzw. Raupe) bei vorwärtsfahrendem Fahrzeug.

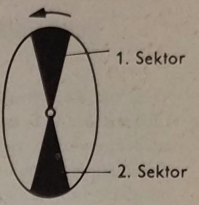
Beispiele für stroboskopische Erscheinungen im weiteren Sinne sind die als Kinderspielzeug dienenden rotierenden Stroboskope (Abb. 2) oder die kleinen Bücher mit „beweglichen" Bildern (Abb. 3). Wie bei einem Film sind hier Vorgänge in verschiedenen Bewegungsphasen gezeichnet und werden einmal durch Schlitze in einer rotierenden Trommel, das andere Mal durch rasches Abblättern der Buchseiten in eine solche zeitliche Folge gebracht, daß sie ein bewegtes Bild vortäuschen. In der Technik werden Stroboskope einerseits zur Prüfung von Umdrehungszahlen (z. B. an Maschinenwellen) eingesetzt, andererseits werden sie dazu benutzt, einen periodisch sich wiederholenden Vorgang scheinbar langsam ablaufen zu lassen.

Abb. 1

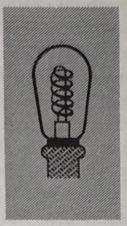
a)



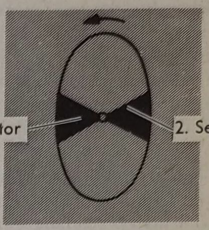
Glimmlampe mit 100 Lichtimpulsen/s



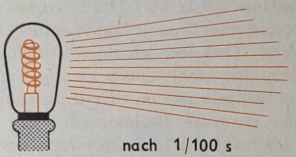
b)



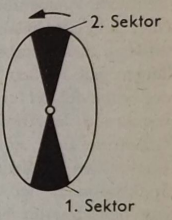
nach 1/200 s



c)



nach 1/100 s



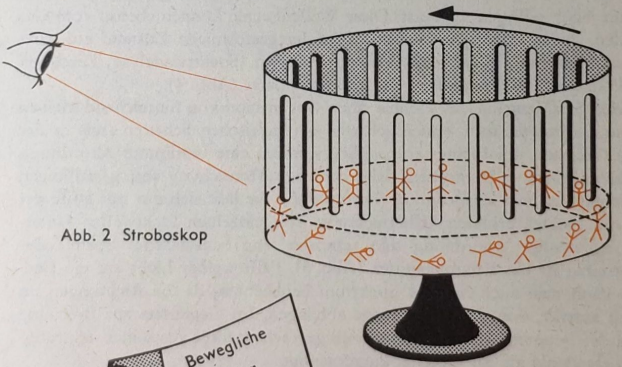


Abb. 2 Stroboskop

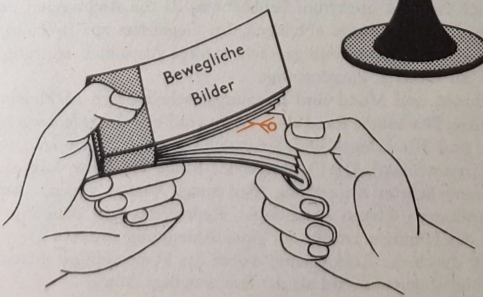


Abb. 3

REFLEXION, BRECHUNG UND BEUGUNG DES LICHTES

Trifft ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche zweier verschiedener durchsichtiger Medien, z. B. aus der Luft auf einen Glasblock, so wird ein Teil des Lichtes in das erste Medium zurückgeworfen (reflektiert), der andere Teil dringt in das zweite Medium ein. Er ändert dabei jedoch seine ursprüngliche Ausbreitungsrichtung, er wird gebrochen. Man bezeichnet diese beiden Erscheinungen als Reflexion und Brechung (Refraktion; Abb. 1). Der Strahl r wird so reflektiert, daß er mit dem Einfallslot l (der Senkrechten auf der Grenzfläche) den gleichen Winkel α bildet wie der einfallende Strahl e (Einfallswinkel = Reflexionswinkel). Einfallender Strahl e, Einfallslot l, reflektierender Strahl r und gebrochener Strahl g liegen ferner in einer Ebene. – Die mathematische Beziehung, die zwischen dem Einfallswinkel α und dem Brechungswinkel β besteht, beschreibt das Brechungsgesetz: $\sin \alpha / \sin \beta = n$; n ist der (relative) Brechungsindex (die Brechungszahl).

Weißes Licht wird bei der Brechung in verschiedene Farben, die Spektralfarben, zerlegt (Abb. 2); es entsteht ein Spektrum (Abb. 3). Rot wird am wenigsten, Violett am stärksten gebrochen (Dispersion). Vereinigt man die Lichtstrahlen der verschiedenen Spektralfarben mit einer Linse, so entsteht wiederum weißes Licht. Dies gelingt auch schon bei Verwendung von nur zwei Spektralfarben (in bestimmtem Intensitätsverhältnis), wenn sie zueinander komplementär sind (Komplementärfarben). Jeder Spektralfarbe entspricht eine bestimmte Wellenlänge des Lichtes. Das Spektrum glühender, fester oder flüssiger Stoffe und sehr stark verdichteter Gase ist kontinuierlich, es enthält alle Wellenlängen (die Farben Rot bis Violett). Daß dennoch einzelne Wellenlängen im Spektrum der Sonne fehlen (es erscheinen einzelne dunkle Linien, die sog. Fraunhoferschen Linien), beruht auf der Absorption dieser Wellenlängen im äußeren, gasförmigen Teil der Sonne. Glühende Gase emittieren unter normalen Bedingungen Licht von einzelnen, ganz bestimmten Wellenlängen; es erscheint ein Linienspektrum, bestehend aus einzelnen Spektrallinien (bei Atomen), oder ein Bandenspektrum (bei Molekülen), das eine Vielzahl eng benachbarter Spektrallinien aufweist. Diese Wellenlängen können ebenso vom Gas absorbiert werden. Jedes chemische Element zeigt im gasförmigen Zustand ein ganz charakteristisches Spektrum, es läßt sich damit nachweisen (Spektralanalyse; Kirchhoff und Bunsen, 1859). Zum Nachweis dient ein Spektralapparat (Abb. 4).

Bringt man in den Strahlengang des Lichtes einen Gegenstand von hinreichend kleinen Dimensionen, so beobachtet man keinen scharfen geometrischen Schatten (wie er der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes entspricht), sondern eine bestimmte Anordnung heller und dunkler Gebiete (z. B. Streifen). Eine derartige Abweichung vom geradlinigen Strahlengang bezeichnet man als Beugung (Diffraktion). Sie läßt sich nur mit Hilfe der Wellentheorie des Lichtes erklären (Überlagerung von einzelnen Lichtwellen [Interferenz]). Eine regelmäßige Anordnung sehr schmaler, eng benachbarter Spalte oder durchlässiger Streifen ist ein Beugungsgitter (Abb. 5). Fällt weißes Licht auf ein Beugungsgitter, so kann man auch hier ein Spektrum beobachten, da die Richtungen, in denen Helligkeit auftritt, von der Wellenlänge abhängen. Im Gegensatz zur Brechung wird jedoch bei der Beugung das rote, längerwellige Licht stärker aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt als das violette, kürzerwellige.

Die ringförmigen Höfe um Sonne und Mond sind Beugungserscheinungen an kleinen Wassertröpfchen der Atmosphäre. Der äußere Rand eines Hofes erscheint daher (schwach) rot gefärbt. Halos hingegen sind Brechungs- und Spiegelungserscheinungen an Eiskristallen (meist in dünnen Zirruswolken). Die Farbfolge der Ringe erscheint, falls sie überhaupt erkennbar ist, in umgekehrter Anordnung (Rot innen, Violett außen). Am Zustandekommen eines Regenbogens wirken Brechungs-, Reflexions- und Beugungserscheinungen mit. Das Blau des Himmels beruht auf einer Ablenkung (Streuung) des Sonnenlichtes auf seinem Weg durch die Atmosphäre, wobei das kürzerwellige (blaue) Licht stärker aus seiner Richtung abgelenkt wird als das längerwellige (rote).

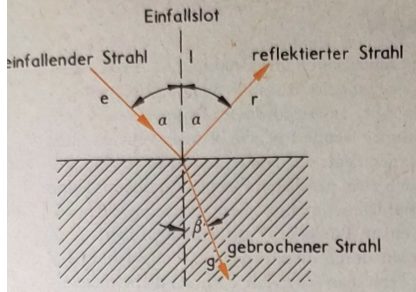


Abb. 1 Reflexion und Brechung

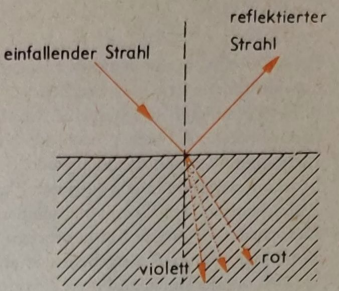


Abb. 2 Zerlegung des Lichtes bei der Brechung

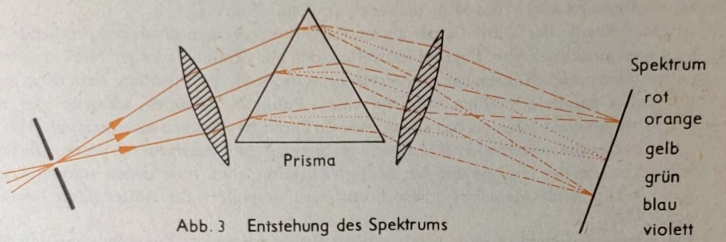


Abb. 3 Entstehung des Spektrums

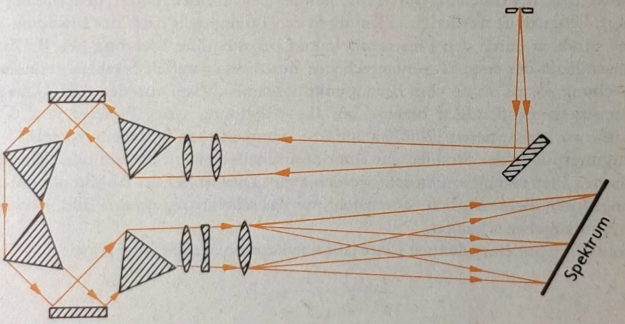


Abb. 4 Prinzip eines Spektralapparates

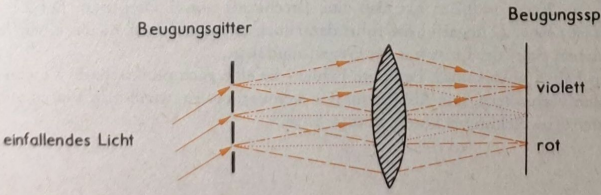


Abb. 5 Entstehung eines Beugungsspektrums

LINSEN

Beim Durchgang durch ein Prisma ändern die Lichtstrahlen ihre Richtung, und zwar werden sie immer von der brechenden Kante weg abgelenkt (s. Reflexion, Brechung... S. 164). Man kann sich nun eine Anzahl wie in Abb. 1a angeordneter Prismen vorstellen, deren brechende Flächen nach der Mitte zu immer weniger gegeneinander geneigt sind: Lichtstrahlen durch die äußersten Prismen werden dann am stärksten zur Mitte hin gebrochen, während in der mittleren Platte mit den zwei parallelen Flächen überhaupt keine Ablenkung erfolgt. Damit werden parallele Strahlen beim Durchgang durch diese Anordnung nach der Achse hin gebrochen und in einem Punkt (F') zusammengeführt. Auch von einem Punkt P ausgehende Strahlen werden durch diese Prismen so abgelenkt, daß sie sich wieder in einem Punkt P' vereinigen. Setzt man sehr viele Prismen dicht aneinander, so werden schließlich die vielen kleinen geneigten Flächen zu einer Kugelfläche. Da die Strahlen zusammengeführt werden, heißt der brechende Körper *Sammellinse*. Eine Sammellinse ist also in der Mitte dicker als am Rand (konvex).

Ist eine Linse in der Mitte dünner als am Rand (konkav), kann man entsprechende Überlegungen anstellen (Abb. 1b) und feststellen, daß alle Strahlen von der Mitte weg auseinanderlaufen; solche Linsen heißen *Zerstreuungslinsen*. Nach der Brechung sieht es so aus, als ob vorher parallele Strahlen nun von einem Punkt F herkämen, während von einem Punkt ausgehende Strahlen von einem anderen Punkt zu stammen scheinen (vgl. Abb. 3b). Abb. 2 zeigt die verschiedenen Formen von Sammel- und Zerstreuungslinsen. Die jeweils letzte Linse in der Gruppe mit den zwei gleichsinnig, aber verschieden stark gekrümmten Flächen heißt Meniskus; diese Form wird besonders für Brillengläser bevorzugt (s. S. 170).

Die Eigenschaften der Linsen beschreibt das Brechungsgesetz: Zur Achse parallele Strahlen werden nach der Brechung durch eine Sammellinse in einem Punkt, dem Brennpunkt F, vereinigt. Umgekehrt werden Strahlen durch den Brennpunkt nach der Brechung achsenparallel. Strahlen durch den Linsenmittelpunkt behalten ihre Richtung bei. Bei Zerstreuungslinsen heißt der erste Satz entsprechend: Zur Achse parallele Strahlen verlaufen nach der Brechung so, als ob sie vom Brennpunkt herkämen. Zwei von den drei Aussagen des Brechungsgesetzes genügen bereits, um die Abbildung eines Punktes von G durch eine Linse zu konstruieren (Abb. 3a und 3b). Sammellinsen geben ein *reelles* Bild, das im Vereinigungspunkt der Strahlen auf einer Mattscheibe, einem Schirm oder einer photographischen Platte sichtbar gemacht werden kann. Dies ist bei der Abbildung durch Zerstreuungslinsen nicht möglich; es entsteht nur das scheinbare, *virtuelle* Bild, von dem die Strahlen auszugehen scheinen.

Die Abbildung mit einer dünnen Linse läßt sich berechnen nach der Formel:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = D$$

(g = Gegenstandsweite in Meter, b = Bildweite in Meter, f = Brennweite in Meter). Statt der Brennweite wird für eine Linse häufig auch ihre Brechkraft in Dioptrien angegeben. Je kürzer die Brennweite einer Linse ist, desto größer ist ihre Brechkraft D. Eine Linse von z. B. $f = 20$ cm $= 0{,}2$ m hat also eine Brechkraft von 5 Dioptrien. Bei Zerstreuungslinsen ist f bzw. D negativ; das führt dann auch zu negativem b, da das virtuelle Bild auf der gleichen Seite der Linse wie der Gegenstand liegt.

Einzelne Linsen haben physikalisch bedingte Fehler, die eine ganz punktscharfe Vereinigung der Strahlen verhindern. Die Abbildung läßt sich verbessern, wenn man Linsen mit entgegengesetzten Abweichungen kombiniert (s. S. 182).

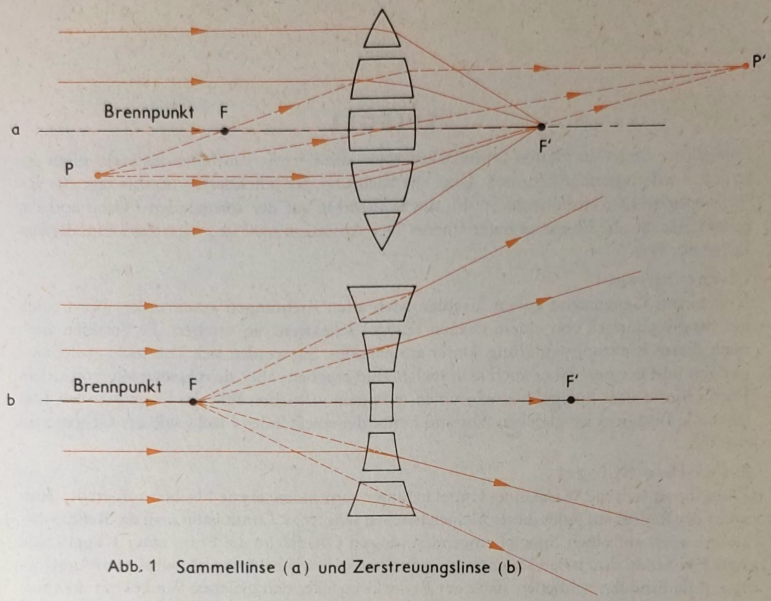


Abb. 1 Sammellinse (a) und Zerstreuungslinse (b)

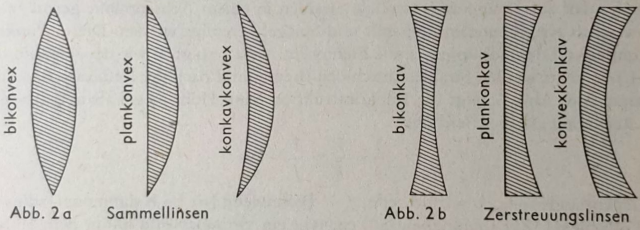


Abb. 2a Sammellinsen Abb. 2b Zerstreuungslinsen

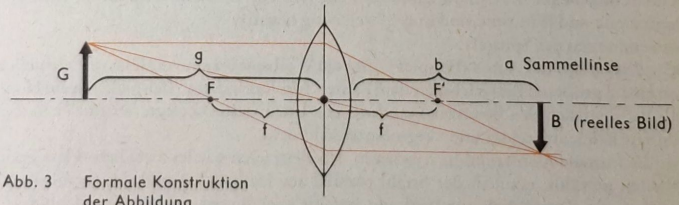
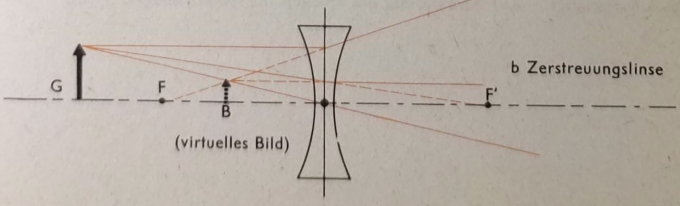


Abb. 3 Formale Konstruktion der Abbildung



SPIEGEL

Spiegelung findet an glatten Oberflächen statt; diese werfen auffallendes Licht nicht gestreut, sondern gerichtet zurück. Über die Richtung des reflektierten Strahls sagt das *Reflexionsgesetz:* Der einfallende Strahl, die Senkrechte auf der spiegelnden Fläche und der reflektierte Strahl liegen in einer Ebene. Der Ausfallswinkel ist gleich dem Einfallswinkel (Abb. 1).

Ebene Spiegel

Von einem Gegenstand gehen Strahlen nach allen Richtungen auseinander. Wird solch ein Strahlenbündel von einem ebenen Spiegel reflektiert, so streben die Strahlen auch nach dieser Richtungsänderung weiter auseinander. Sie werden sich also nicht mehr vereinigen und können daher auch kein reelles Bild ergeben; aber sie scheinen alle von einem Punkt hinter dem Spiegel herzukommen, von dem virtuellen Bild des Gegenstandes. Das virtuelle Bild liegt im gleichen Abstand hinter der spiegelnden Fläche wie der Gegenstand vor ihr.

Gewölbte Spiegel

Denkt man sich die Wand einer Kugel in lauter ganz kleine ebene Flächen aufgeteilt, dann steht der Radius auf jeder dieser kleinen Flächen senkrecht. Damit kann man das Reflexionsgesetz auch auf einen Spiegel anwenden, dessen Oberfläche die Form einer Kugelschale hat: Ein Strahl durch den Krümmungsmittelpunkt M wird also in sich selbst zurückgeworfen. Alle Strahlen schließen nach der Reflexion wieder den gleichen Winkel mit dem Radius ein, so daß zur Hauptachse parallele Strahlen in einem Achsenpunkt genau in der Mitte zwischen Krümmungsmittelpunkt und Spiegel vereinigt werden. Dieser Punkt ist der Brennpunkt F des Hohlspiegels; die Brennweite ist halb so groß wie der Krümmungsradius. Umgekehrt werden Strahlen durch den Brennpunkt nach der Reflexion Parallelen zur Hauptachse. Abb. 2 zeigt die Bildkonstruktion beim Hohlspiegel (Sammelspiegel). Für die Rechnung gilt die Gleichung:

$$\frac{1}{g}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}=\frac{2}{r}$$

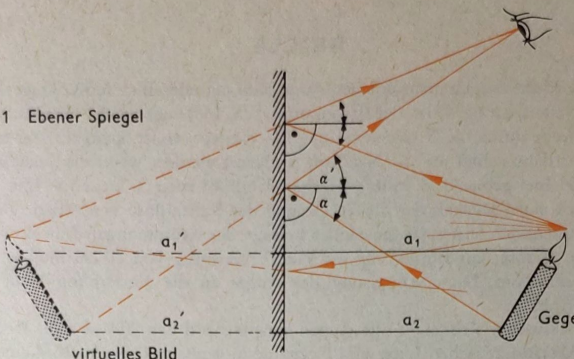
(g = Gegenstandsweite, b = Bildweite, f = Brennweite [= $^1/_2$ Krümmungsradius r]). Beim Wölbspiegel (Zerstreuungsspiegel) entsteht ein virtuelles Bild hinter dem Spiegel. Brennweite und Bildweite sind in der Gleichung negativ.

Anwendungen des Spiegels:

Beim *Rückspiegel* des Autos (Beispiel 1) gibt ein Wölbspiegel ein verkleinertes virtuelles Bild von einem größeren Bereich hinter dem Fahrer. Ein *Rasierspiegel* (Beispiel 2) ist ein Hohlspiegel, bei dem sich der Benutzer innerhalb der Brennweite bewegt, so daß er im Spiegel sein virtuelles, aufrechtes und vergrößertes Bild sieht.

Für die formale Konstruktion wurden in den Beispielen wieder zwei besonders geeignete Strahlen gewählt, nämlich der Strahl parallel zur Hauptachse und der Strahl durch den Brennpunkt. Tatsächlich zur Wirkung kommt aber immer nur das Strahlenbündel, das ins Auge gelangt. – Zur Anwendung des Spiegels im *Spiegelteleskop* s. S. 176.

Abb.1 Ebener Spiegel



virtuelles Bild
$a_1' = a_1$, $a_2' = a_2$ („Spiegelsymmetrie")

Reflexionsgesetz $\alpha' = \alpha$

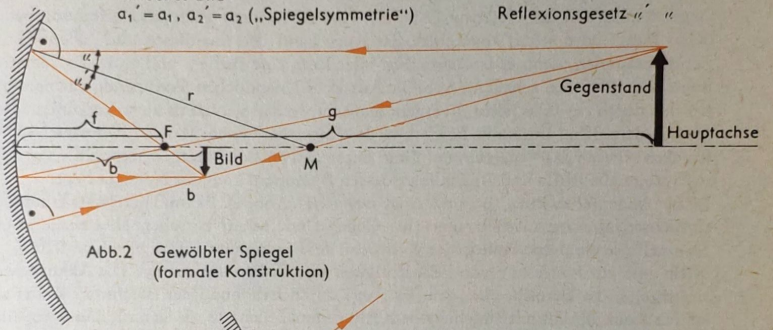
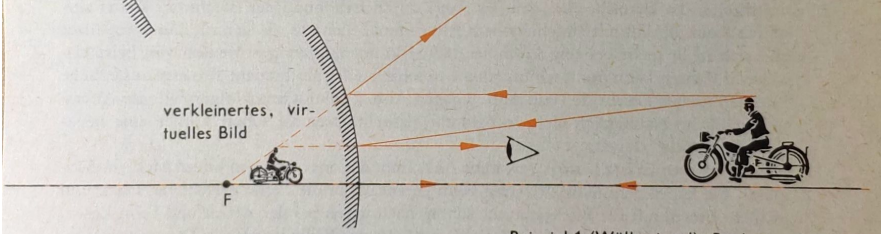
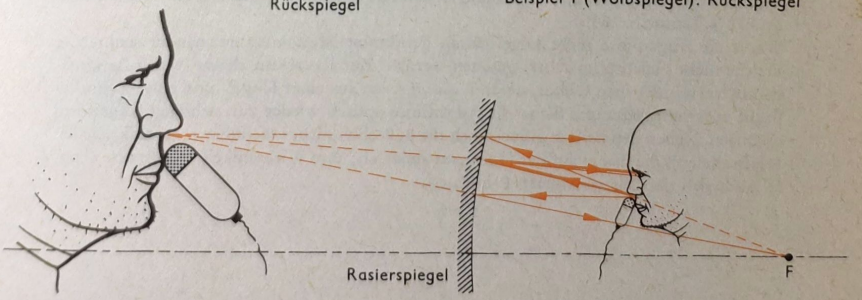


Abb.2 Gewölbter Spiegel
(formale Konstruktion)



Rückspiegel

Beispiel 1 (Wölbspiegel): Rückspiegel



virtuelles, vergrößertes Bild

Beispiel 2 (Hohlspiegel): Rasierspiegel

BRILLE

Bei einem normalsichtigen menschlichen Auge wird ein unendlich ferner Gegenstand genau auf die Netzhaut abgebildet, der Brennpunkt (s. S. 166) liegt auf der Netzhaut (Abb. 1). Da die Bildweite durch die Größe des Augapfels vorgegeben ist, kann ein sehr naher Gegenstand nur dann scharf auf die Netzhaut projiziert werden, wenn die Brennweite der Linse dazu kleiner gemacht, d. h. ihre Brechkraft erhöht wird (s. Linsen S. 166). Dies geschieht durch einen Muskel, der die Krümmung der Kristallinse vergrößert: Bei Abbildung eines unendlich fernen Gegenstandes beträgt der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche 10 mm, zur Einstellung auf eine Entfernung von 10 cm muß er sich auf 5,33 mm verringern. Diese Anpassung des Auges an die Entfernung heißt Akkommodation (Abb. 2).

Allerdings verhalten sich nicht alle Augen entsprechend den Abb. 1 u. 2. Ist in einem Auge der Abstand zwischen Linse und Netzhaut zu groß, so liegt das Bild eines fernen Gegenstandes vor der Netzhaut (Abb. 3): Erst ein in einer kürzeren Entfernung befindlicher Punkt wird scharf abgebildet, das Auge kann also nur diesen und nähere Punkte richtig erkennen, denn es ist *kurzsichtig*. Hier kann eine Brille – und zwar eine Zerstreuungslinse – Abhilfe schaffen (Abb. 3). Aus dem Unendlichen kommende Lichtstrahlen werden durch das Glas leicht divergent gemacht, so daß sie von da ab so verlaufen, als ob sie von dem näher liegenden Fernpunkt des Auges herkämen. Man kann dies auch so ausdrücken: Durch das Vorsetzen der Linse mit negativer Brechkraft entsteht ein kombiniertes System aus Brille und Augenlinse, dessen Brennpunkt auf der Netzlaut liegt.

Ist der Augapfel zu kurz, so ist das Auge *übersichtig* (Abb. 4). Es muß bereits Akkommodationsanstrengungen machen, um ferne Gegenstände scharf zu sehen. Hier verkürzt eine Sammellinse die Brennweite in der Weise, daß der Brennpunkt auf die Netzhaut fällt.

Nicht nur zur Korrektur von Fehlsichtigkeit sind Brillen notwendig. Die Akkommodationsbreite, der Bereich, über den das Auge durch Erhöhung der Brechkraft scharf einstellen kann, nimmt mit zunehmendem Alter immer mehr ab, da sich die Linse verhärtet und sich nicht mehr beliebig krümmen läßt. Ein normalsichtiger Mensch von beispielsweise 55 Jahren kann nur noch bis etwa 1 m scharfstellen; er braucht also eine zusätzliche Sammellinse als Lesebrille (vgl. Abb. 5 gegen Abb. 2). Bei Kurzsichtigen fällt die Altersichtigkeit im Nahbereich nicht so bald auf, dafür mußten sie schon vorher eine negative „Fernbrille" tragen.

Einen gewissen Ersatz für das verlorene Akkommodationsvermögen bieten Mehrstärkengläser. Sie haben schwache Wirkung beim geradeaus in die Ferne gerichteten Blick und größere Brechkraft für Blickrichtung schräg nach unten bei der Arbeit und beim Lesen. Akkommodationsbreite des Auges und Brechkraft der Brille werden in Dioptrien ausgedrückt (s. Linsen S. 166).

Wenn die Augenlinse nicht kugelförmig gekrümmt ist, können zueinander senkrechte Striche nicht gleichzeitig scharf gesehen werden. Zur Korrektur dieses Augen-Astigmatismus verwendet man Gläser, deren Wölbung sich aus einer Kugel- und einer Zylinderfläche zusammensetzt und die so die Augenlinse optisch wieder zur richtigen Kugelform ergänzen. Neben den Brillen gibt es noch die äußerlich nicht erkennbaren Kontaktschalen (Haftschalen), die direkt auf der Hornhaut aufsitzen; ihre Wirksamkeit ergibt sich ebenfalls aus den oben besprochenen Prinzipien.

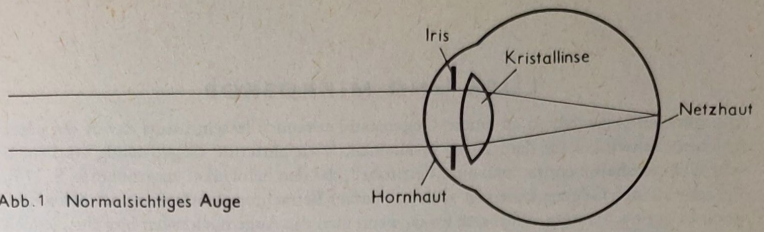


Abb. 1 Normalsichtiges Auge

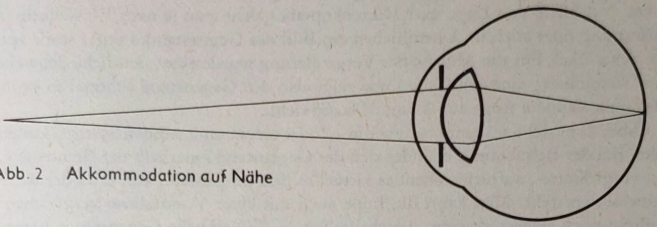


Abb. 2 Akkommodation auf Nähe

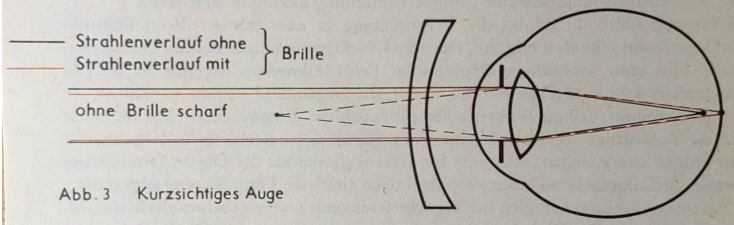


Abb. 3 Kurzsichtiges Auge

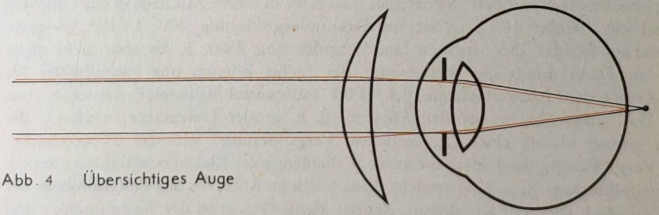


Abb. 4 Übersichtiges Auge

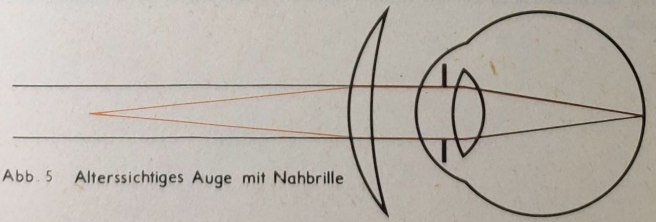


Abb. 5 Alterssichtiges Auge mit Nahbrille

LUPE UND MIKROSKOP

Wie gut sich Einzelheiten an einem Gegenstand erkennen lassen, hängt davon ab, unter welchem Sehwinkel sie dem Auge erscheinen. Weit entfernte Gegenstände erscheinen sehr klein, deshalb benützt man ein „Fernrohr", das den Sehwinkel vergrößert (s. S. 176). Bei sehr kleinen Gegenständen ist auch aus kurzer Betrachtungsentfernung der Sehwinkel noch zu gering. Er vergrößert sich zwar, wenn man das Auge noch näher hinführt, jedoch endet das Akkommodationsvermögen (Fähigkeit zum Scharfstellen) des Auges bei etwa 40 bis 15 cm. Mit Hilfe von Lupe und Mikroskop aber sieht man je nach Einstellung in dieser Entfernung oder auch im Unendlichen ein Bild des Gegenstandes unter stark vergrößertem Sehwinkel. Für die Angabe der Vergrößerung wurde eine „deutliche Sehweite von 25 cm" vereinbart; eine achtfache Lupe zeigt also den Gegenstand achtmal so groß, wie ihn das unbewaffnete Auge aus 25 cm Abstand sieht.

Die *Lupe* (Abb. 1) besteht aus einer Sammellinse (oder einem sammelnden System) kurzer Brennweite. Bei der Betrachtung befindet sich der Gegenstand innerhalb der Brennweite, so daß ein vergrößertes, aufrechtstehendes virtuelles Bild im Abstand von etwa der deutlichen Sehweite entsteht. Man kann die Lupe auch mit einer Vorsatzlinse vergleichen: Sie ermöglicht noch stärker als eine „Lesebrille" (s. S. 170) an nahe Gegenstände heranzugehen, während das Auge auf eine größere Entfernung akkommodiert bleibt.

Beim *Mikroskop* (Abb. 2) erfolgt die Vergrößerung in zwei Stufen: Beim Fernrohr war der Gegenstand sehr weit entfernt, das vom Objektiv mit langer Brennweite entworfene reelle Bild etwa im hinteren Brennpunkt. Beim Mikroskop dagegen ist die Objektivbrennweite sehr kurz (etwa 46 bis 1,6 mm), der Gegenstand kommt so nahe an den vorderen Brennpunkt, daß die Bildweite viel größer als die Brennweite ist. Die Bildweite ist durch die Tubuslänge von meist 160 mm vorgegeben; damit ist das reelle Zwischenbild (bei den obigen Brennweiten) etwa 2,5- bis 100mal größer als das Objekt (anstelle der Brennweite wird allgemein bei Mikroskopobjektiven gleich die Vergrößerung angegeben). In der Zwischenbildebene befinden sich Gesichtsfeldblende und gegebenenfalls Maßstäbe, Netzeinteilungen o. ä. Das Zwischenbild wird nun mit einer Lupe, dem Okular, betrachtet und dabei nochmals vergrößert. Verwendet man z. B. in einem Mikroskop ein Objektiv 40 : 1 und ein Okular 10×, so ist die Gesamtvergrößerung 400 : 1. Ein Objektiv 100 : 1 und ein Okular 25 × ergäben eine Vergrößerung 2500 : 1, die aber nicht mehr sinnvoll ist. Denn durch die Wellennatur des Lichts können nur Einzelheiten bis etwa zur Größe der Lichtwellenlänge (0,4 bis 0,7 Tausendstel Millimeter) wiedergegeben werden. Das entspricht bei großer Apertur (d. h. großer Lichtstärke, wodurch die Beugung gering bleibt) einer „förderlichen Vergrößerung" um das Tausendfache. Stärkere Vergrößerung wird durch die kurze Wellenlänge der Elektronenstrahlen mit dem Elektronenmikroskop (s. S. 174) erreicht. Eine wichtige Rolle für das Funktionieren des Mikroskops spielt auch der Kondensor, der das kleine Objekt in der Weise intensiv und gleichmäßig beleuchten soll, daß das Licht möglichst vollständig in das Objektiv übergeführt wird.

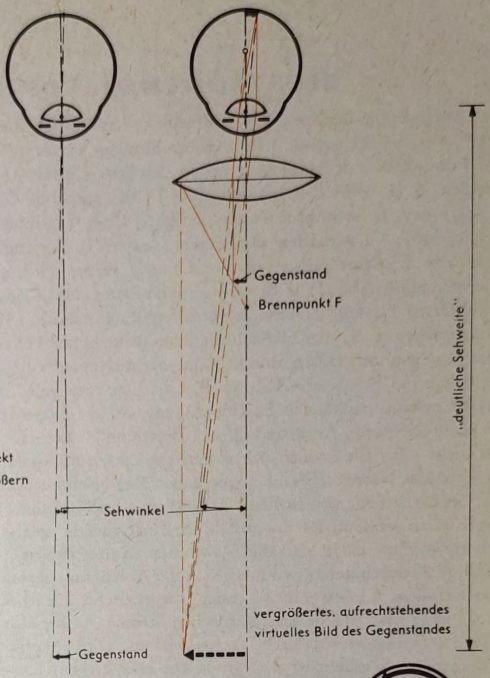


Abb. 1 Aufgabe einer Lupe ist es, den Sehwinkel, unter dem ein Objekt dem Auge erscheint, zu vergrößern

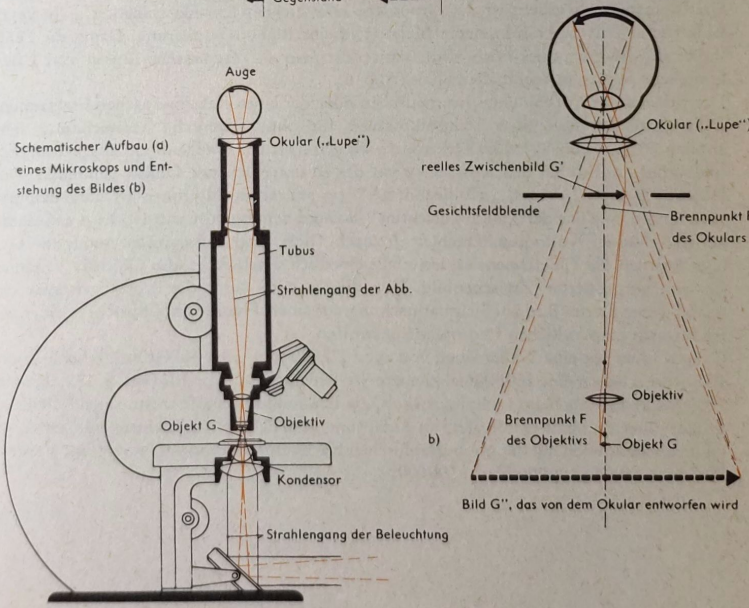


Abb. 2 Schematischer Aufbau (a) eines Mikroskops und Entstehung des Bildes (b)

ELEKTRONENMIKROSKOP

Da das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops durch die Wellenlänge des Lichts begrenzt ist (s. S. 172), suchte man nach Strahlungen kürzerer Wellenlänge, die sich auch ablenken und damit zur Abbildung verwenden lassen. Diese Möglichkeit bieten Elektronenstrahlen, d. h. beim Durchlaufen eines Feldes auf hohe Geschwindigkeit gebrachte freie Elektronen. Je nach ihrer Geschwindigkeit kann man ihnen eine bestimmte Wellenlänge zuordnen; sie verhalten sich unter gewissen Bedingungen wie eine Wellenstrahlung. Da ein Elektron eine negative Ladung trägt, wird es in einem elektrischen Feld beschleunigt (Abb. 1), z. B. zur positiven Platte eines Kondensators oder ganz allgemein zu Orten höherer Spannung (höheren Potentials) hin, in der entgegengesetzten Richtung gebremst. Bei der Darstellung eines elektrischen Feldes werden alle Punkte, die auf gleicher Spannung liegen, durch „Äquipotentiallinien" verbunden. Fliegt ein Elektron schräg durch ein elektrisches Feld (z. B. zwischen zwei geladenen Drahtnetzen; Abb. 2), so erfährt es eine zusätzliche Beschleunigung auf die Linien höheren Potentials zu, es ändert seine Richtung. Aufgrund dieser „Brechung" baute man — analog zu den Glaslinsen für Licht — für Elektronen elektrostatische Linsen aus kugelig gewölbten Drahtnetzen (Abb. 3). Solche Netze im Strahlengang haben aber Nachteile, deshalb verwendet man Linsen auf der Grundlage von Rohren (Abb. 4) oder Lochblenden (Abb. 5). Daß sich bei dem symmetrischen Verlauf der Potentiallinien zerstreuende und sammelnde Wirkung nicht aufheben, kommt daher, daß die Elektronen das zerstreuende Gebiet mit höherer Geschwindigkeit durchlaufen, wodurch sich die Ablenkung geringer auswirkt. Neben den elektrostatischen Linsen gibt es auch magnetische Elektronenlinsen: Ein bewegtes Elektron ist ja die Urform des elektrischen Stromes, es hat also auch ein Magnetfeld um sich. Daß auf einen Strom durch Wechselwirkung seines Magnetfeldes mit einem anderen Kräfte ausgeübt werden, ist die Grundlage aller elektrischen Maschinen. Das bewegte Elektron erfährt deshalb in einem Magnetfeld eine Richtungsänderung. Damit die Feldstärke des Magnetfeldes hoch wird, verwendet man als magnetische Linsen von Eisen umgebene Spulen mit schmalem Spalt (Abb. 6).

Der prinzipielle Aufbau eines magnetischen oder der eines elektrostatischen Elektronenmikroskops ist dem eines Lichtmikroskops für photographische Aufzeichnung sehr ähnlich (Abb. 7a bis 7c): Die Elektronen werden von der Glühkathode ausgesandt, beschleunigt, und durch den Kondensor auf das zu untersuchende Objekt gebündelt. Das Objekt (Bakterie, Virus, „Kohleabdruck" [= auf einen Mikrokristall aufgedampfte Kohlehülle, aus der der „undurchsichtige" Kristall herausgelöst wurde]) liegt auf einem äußerst dünnen Kollodiumhäutchen. Je nach Dicke und Zusammensetzung des Objekts werden die Elektronenstrahlen unterschiedlich geschwächt, das Objektiv vereinigt sie zum vergrößerten Zwischenbild. Von diesem wird durch die Projektionsoptik ein weiter vergrößertes Bild zur Sichtbarmachung auf einem Fluoreszenzschirm oder einer für Elektronen empfindlichen Photoplatte entworfen.

Grünes Licht hat eine Wellenlänge von rund 1/2000 mm – mit 50000 Volt beschleunigte Elektronen haben eine 100000mal kleinere Wellenlänge. Die Apertur (vgl. S. 172) ist zwar 1000mal kleiner als beim Lichtmikroskop, die Beugungsunschärfe entsprechend 1000mal größer, aber es bleibt ein Gewinn an Auflösung vom Faktor 100. Elektronenmikroskope erlauben zusammen mit der photographischen Nachvergrößerung der Photoplatte Vergrößerungen von 1 : 100000 bis 1 : 500000.

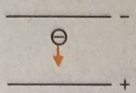


Abb. 1 Elektron im elektrischen Feld

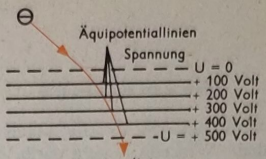


Abb. 2 „Brechung" des Elektronenstrahls

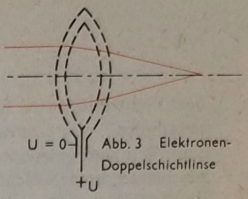


Abb. 3 Elektronen-Doppelschichtlinse

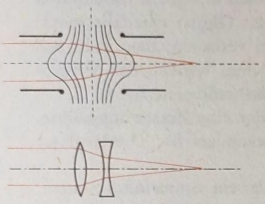


Abb. 4 Elektronenlinse in Rohrform im Vergleich mit entsprechenden optischen Linsen

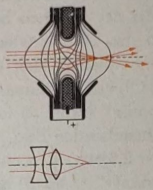


Abb. 5 Elektronenlinse in Lochblendenform im Vergleich mit entsprechenden optischen Linsen

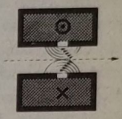


Abb. 6 Spule mit Eisenumhüllung als magnetische Linse

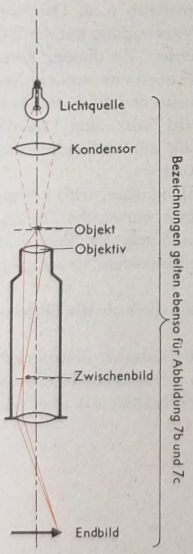


Abb. 7a Lichtmikroskop

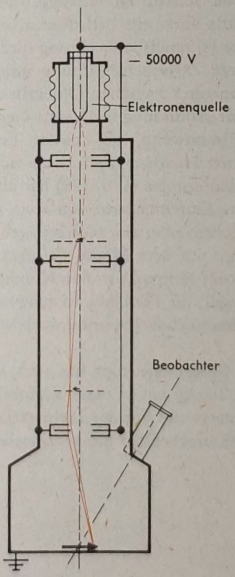


Abb. 7b Elektrostatisches Elektronenmikroskop (Lochblendenlinse)

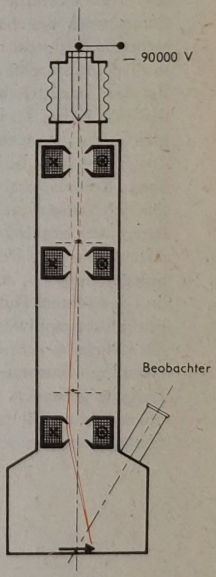


Abb. 7c Magnetisches Elektronenmikroskop (Spulen)

FERNROHRE I

Von Fernrohren wird häufig gesagt, daß sie „die Dinge vergrößern" oder „die Ferne heranholen" – ihre tatsächliche Wirkung besteht darin, daß sie den Sehwinkel vergrößern. Wir sind gewohnt, die Größe oder die Entfernung von Gegenständen danach abzuschätzen, unter welchen Winkeln sie uns erscheinen (Abb. 1).

Im Prinzip bestehen alle Linsenfernrohre (Refraktoren) aus einem dem Objekt zugewandten *Objektiv* und einem dem Auge zugewandten *Okular*. Die Strahlen von dem fernen Gegenstand treten etwa parallel in das Objektiv ein und werden in seinem Brennpunkt vereinigt (vgl. Linsen S. 166). An der gleichen Stelle hat das Okular ebenfalls seinen Brennpunkt, so daß die Strahlen das Okular wieder parallel verlassen; man sieht den Gegenstand also weiterhin im Unendlichen, aber unter größerem Winkel. Die Vergrößerung ist gleich dem Verhältnis Objektivbrennweite f_1/Okularbrennweite f_2.

Beim „*holländischen* (*Galilei-*) *Fernrohr*" (Abb. 2) ist das Okular eine Zerstreuungslinse. Dieses System liefert ein aufrechtstehendes Bild, es wird besonders für Theatergläser mit geringer Vergrößerung (meist 2,5fach) verwendet.

Das „*astronomische* (*Keplersche*) *Fernrohr*" (Abb. 3) hat als Okular ein sammelndes System. Daß hier bei der Zwischenabbildung ein reelles Bild entsteht, hat einen großen Vorteil: Alles, was sich in dieser Ebene befindet, erscheint dem Auge scharf und im Unendlichen liegend. Deshalb bringt man hier eine Gesichtsfeldblende an, die dem übersehbaren Raum im Unendlichen eine scharfe Begrenzung gibt, dazu entsprechend dem Verwendungszweck gegebenenfalls auch ein Fadenkreuz, einen Glasmaßstab o. ä. Das kopfstehende Bild stört bei der Himmelsbeobachtung nicht, für die Verwendung auf der Erde muß es durch eine weitere Zwischenabbildung umgekehrt werden. Zu diesem Zweck hat das „terrestrische Fernrohr" zwischen Objektiv und Okular noch eine weitere Sammellinse (Abb. 4). Bei der Abbildung 1 : 1 sind Gegenstandsweite und Bildweite beide gleich der doppelten Brennweite, das ganze Fernrohr wird sehr lang, nämlich $l = f_1 + 4f_u + f_2$. Für den Handgebrauch baute man es deshalb mit ineinanderschiebbaren Rohren; das Prismenfernglas (s. S. 178) hat diese Bauart ersetzt.

Da sich Linsen nur bis zu Durchmessern von etwa 1 m herstellen lassen, wird bei größeren astronomischen Fernrohren ein Hohlspiegel als Objektiv verwendet (Spiegeldurchmesser des Teleskops auf dem Mount Palomar 5 m). Abb. 5 zeigt das Prinzip des Spiegelteleskops, Abb. 6 ein Beispiel für eine Kombination aus konkavem Hauptspiegel und gewölbtem Fangspiegel; die Baulänge ist sehr kurz.

Für photographische Aufnahmen des Sternhimmels wird die Platte direkt in die Bildebene des Objektivs gebracht.

Die kurze Bauweise des Spiegelteleskops hat auch schon in die normale Photographie Eingang gefunden. Abb. 7 zeigt ein an einer Kleinbildkamera zu verwendendes Spiegelobjektiv von 500 mm Brennweite mit der Lichtstärke 1 : 4,5. Es besteht aus zwei Glasspiegeln und vier schwach brechenden Korrektionslinsen.

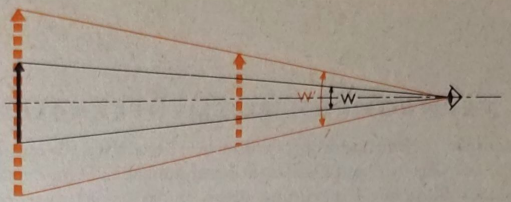


Abb. 1
Vergrößerung des Sehwinkels

Abb. 2 Holländisches Fernrohr

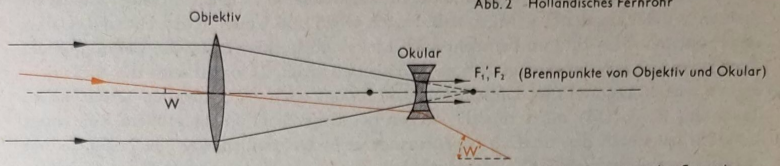


Abb. 3 Astronomisches Fernrohr

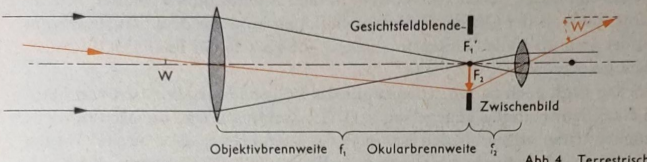


Abb. 4 Terrestrisches Fernrohr

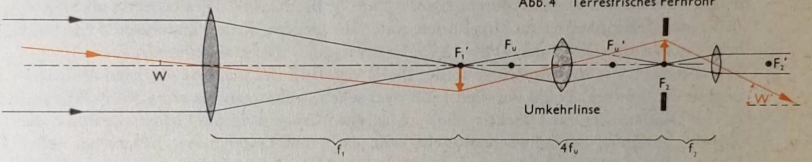
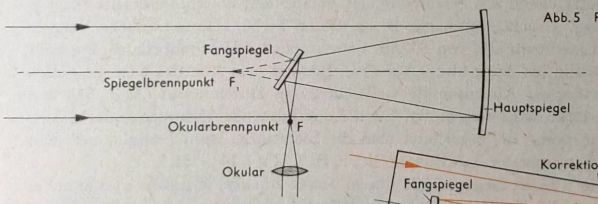


Abb. 5 Prinzip des Spiegelteleskops



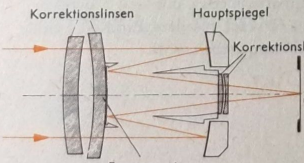


Abb. 7 Spiegelobjektiv 1:4,5, f = 500 mm für Kleinbildkamera 24 x 36 mm

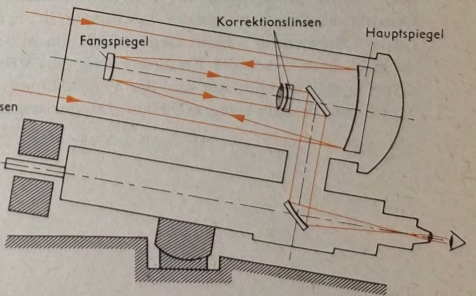


Abb. 6 Spiegelteleskop mit gewölbtem Fangspiegel und Korrektionslinsen

FERNROHRE II (PRISMENFERNGLAS)

Das Prismenfernglas (Prismenfernrohr, Feldstecher) besteht wie das astronomische Fernrohr (s. S. 176) aus Objektiv und Okular. Das astronomische Fernrohr allein ergibt aber ein kopfstehendes Bild; zur Umkehrung dieses Bildes werden nun Prismen benützt. Abb. 1 zeigt, wie ein Strahlenbündel durch Totalreflexion in einem Prisma zweimal im rechten Winkel abgelenkt wird, so daß danach Oben und Unten vertauscht sind. Da bei dem kopfstehenden Bild im Fernrohr auch Links und Rechts vertauscht waren, muß der Strahlengang noch ein zweites Prisma durchlaufen (Abb. 2), damit auch die Seitenrichtigkeit wiederhergestellt ist. Diese Prismenanordnung spart gegenüber dem terrestrischen Fernrohr (s. S. 176) nicht nur die wegen der Umkehrabbildung größere Rohrlänge, sondern hat durch den dreifach nebeneinandergelegten Strahlengang eine nochmals wesentlich verkürzte Baulänge. Der gegenüber dem Augenabstand vergrößerte Objektivabstand ist für das räumliche Sehen von Vorteil. In dem Schnittbild 4 ist an der Vereinigung des Strahlenbündels der Ort der Zwischenabbildung kurz vor dem Okular erkennbar. Hier befindet sich auch die Gesichtsfeldblende, die als scharfer Rand des Bildfeldes im Unendlichen gesehen wird.

Die Vergrößerung (vgl. auch S. 176; ebenso gilt das Folgende für *alle* Arten von Fernrohren) wird auf jedem Fernglas angegeben, z. B. 8× (achtmal). Daß die nächste wichtige Zahlenangabe daran angeschlossen ist, ist etwas irreführend; diese zweite Angabe nennt nämlich den Objektivdurchmesser in mm, z. B. „8×30". Dies bedeutet aber nicht, daß eine Multiplikation durchzuführen wäre. Im Gegenteil, den interessierenden Wert erhält man durch Division: 30/8 = 3,75. Er besagt, daß das Strahlenbündel mit 3,75 mm Durchmesser aus der Austrittspupille, die ja das Bild der achtmal größeren Eintrittspupille ist, kommt. Beide Pupillen kann man sehen, wenn man aus etwa 30 cm Abstand in das Okular oder das Objektiv blickt. Auch beim Auge wird die Lichtstärke durch die Pupille geregelt; bei schwachem Licht kann sie 8 mm Durchmesser haben, bei heller Sonne wird sie bis auf 1,5 mm verkleinert. Die Lichtstärke eines Fernglases wird also am besten ausgenützt, wenn das Strahlenbündel gerade den Durchmesser der Augenpupille hat. Ein sog. „Nachtglas" hat z. B. die Daten 7×50, also siebenfache Vergrößerung und eine Eintrittspupille von 50 mm Durchmesser. Bei Mondbeleuchtung geht das Bündel vollständig ins Auge über (Abb. 3a). Benützt man aber das Glas am hellen Nachmittag, dann hat die Augenpupille vielleicht 2 mm Durchmesser (Abb. 3b) und nur $^1/_{13}$ der Lichtstärke wird ausgenützt. Da die durchtretende Lichtmenge der Fläche der Öffnung proportional ist, bezeichnet man die Lichtstärke beim Fernglas mit dem Quadrat des Durchmessers der Austrittspupille, z. B. 7,14×7,14 = 51,5.

In der Dämmerung werden Gegenstände um so besser erkannt, je größer und je heller sie erscheinen. Nach der Erfahrung steigt die Erkennbarkeit etwa mit der Wurzel aus dem Objektivdurchmesser und der Vergrößerung; die Wurzel aus dem Produkt beider Werte wird deshalb gelegentlich als „Dämmerungszahl" angegeben, z. B.:

$$\sqrt{30\times 8} = 15{,}5; \quad \sqrt{50\times 7} = 18{,}7.$$

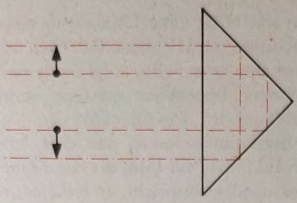


Abb. 1 Zweimalige Totalreflexion im Prisma

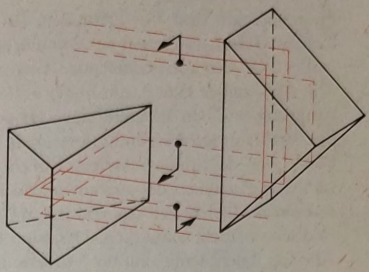
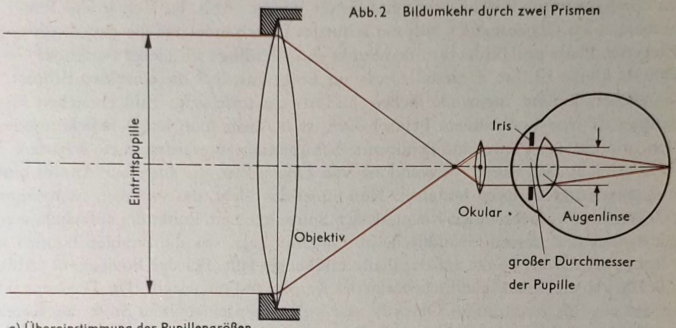
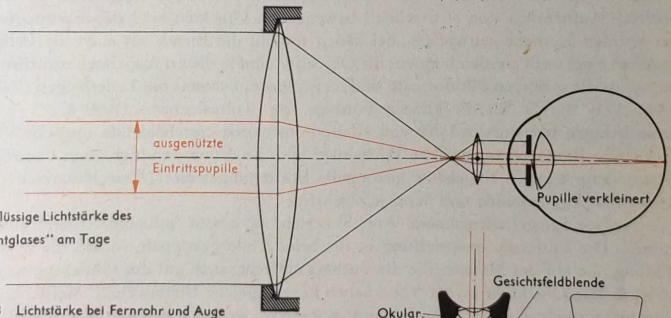


Abb. 2 Bildumkehr durch zwei Prismen



a) Übereinstimmung der Pupillengrößen



b) Überflüssige Lichtstärke des „Nachtglases" am Tage

Abb. 3 Lichtstärke bei Fernrohr und Auge (Beispiel „Nachtglas")

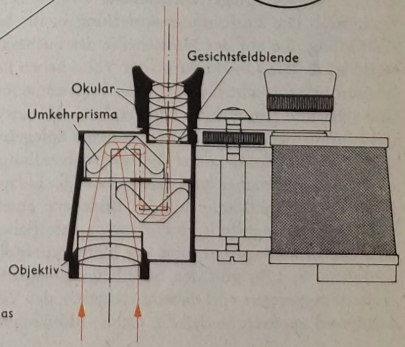


Abb. 4 Prismenfernglas

PHOTOAPPARATE (ÜBERSICHT)

Photoapparate sind Vorrichtungen, bei denen mit Hilfe einer Öffnung in einem lichtdichten Gehäuse auf einer der Öffnung gegenüberliegenden lichtempfindlichen Schicht ein reelles Bild des aufzunehmenden Gegenstandes entworfen wird. Eine moderne Kamera (die Abb. zeigen eine Auswahl der üblichen Systeme) besteht aus dem Gehäuse mit Filmhalterung und den Vorrichtungen für den Filmtransport, dem Objektiv, dem Verschluß, der Entfernungseinstellung (eventuell auch Entfernungsmesser) und dem Sucher zur Festlegung des Bildausschnittes. Um ein reelles Bild, d. h. ein Bild, das den Abmessungen und dem Aussehen des aufzunehmenden Gegenstandes entspricht, zu erhalten, läßt man nur einen kleinen Teil des von jedem Gegenstand ausgehenden Lichtes auf die lichtempfindliche Schicht einwirken. Das kann man schon durch ein etwa 0,4 mm großes Loch (die sog. Lochblende) auf der Vorderseite eines lichtdichten Gehäuses erreichen. Auf diese Weise erhält man eine Lochkamera einfachster Bauart (Abb. 1). Von jedem Punkt des aufzunehmenden Gegenstandes fällt ein schmales Lichtbündel auf die dem Loch gegenüberliegende Platte und bildet dort den Punkt ab. Allerdings wird jeder Punkt des Gegenstandes als kleine Ellipse dargestellt, was zur Folge hat, daß die einzelnen Ellipsen der verschiedenen Punkte ineinanderfließen und so ein unscharfes Bild entstehen lassen. Außerdem ist eine Lochkamera lichtschwach, d. h., man muß lange Belichtungszeiten wählen, um auf der Platte eine genügende Schwärzung zu erzielen. Eine schärfere Abbildung erreicht man durch Verwendung von Objektiven, die aus einer Anzahl hintereinandergeschalteter Linsen bestehen. Nun bildet das Licht, das von dem aufzunehmenden Gegenstand ausgeht, einen Kegel, dessen Spitze in einem Punkt des aufzunehmenden Gegenstandes und dessen Grundfläche im Objektiv liegt, das die Strahlen bündelt und den Punkt wieder als Punkt auf der Platte erscheinen läßt. Bei der Boxkamera (Abb. 2) ist die Blende und damit die Lichtstärke der Kamera fest eingestellt. Die Boxkamera hat meist ein ein- bis zweilinsiges Objektiv und stellt die nächsthöhere Stufe der Kameratypen dar. Auch hier wird noch mit Belichtungszeiten von etwa einer halben Sekunde gearbeitet; Aufnahmen von sich schnell bewegenden Objekten sind dabei unmöglich. Daher wurden Kameras entwickelt, bei denen sowohl die Blende als auch die Belichtungszeiten eingestellt werden können; die Objektive sind in diesen Apparaten mehrlinsig. Kameras für die größeren Filmformate sind meist Sprungkameras mit Lederbälgen (Balgkamera; Abb. 3), die für die kleinen Formate sog. Tubuskameras (Abb. 4).
Letztere bringen bei Verwendung von Kleinbildformaten entscheidende optische Vorteile (kürzere Brennweiten, größere Bildwinkel und die daraus resultierenden Vorteile). Spitzenmodelle besitzen eingebaute gekoppelte Entfernungsmesser, Verschlußgeschwindigkeiten bis $^1/_{1250}$ Sekunde und Wechselobjektive.
Die zweiäugige Spiegelreflexkamera (Abb. 5) besteht aus einem Aufnahmeteil und einem Sucherteil. Die Entfernungseinstellung ist für beide Teile gekoppelt, so daß die scharfe Abbildung, die auf der Mattscheibe des Suchers entsteht, auch auf der Filmebene eingestellt wird. Die Objektive beider Teile haben genau gleiche Brennweiten. Meist ist das Sucherobjektiv lichtstärker als das Aufnahmeobjektiv, weil sich dadurch eine schnellere und schärfere Einstellung erzielen läßt. Alle zweiäugigen Spiegelreflexkameras benützen das Filmformat 6×6 cm. Die einäugige Spiegelreflexkamera (Abb. 6) hat nur ein einziges Objektiv, durch das zuerst die Scharfeinstellung des Bildes auf der Mattscheibe oder in einem Prismensucher und nach dem Hochklappen des unter 45° stehenden Umlenkspiegels die Abbildung auf der Bildebene erzeugt wird. Vor der Aufnahme wird der Blendenwert eingestellt, der kurz vor dem Belichten einspringt. Mit dem Auslösen hebt sich der Umlenkspiegel, und der meist unmittelbar vor dem Film montierte Schlitzverschluß (s. S. 190) gibt den Strahlengang vom Objektiv zum Film frei. Wenn der Film weitertransportiert und dabei gleichzeitig der Verschluß gespannt wird, wird der Spiegel wiederum gesenkt, so daß ein neues Bild eingestellt werden kann.

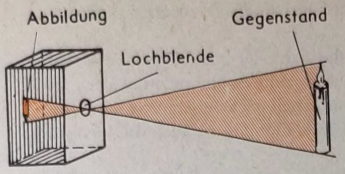


Abb. 1 Lochkamera

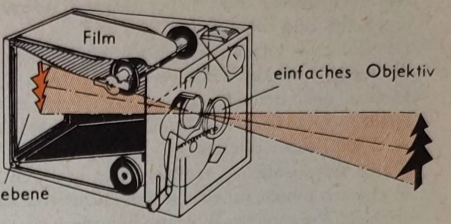


Abb. 2 Boxkamera

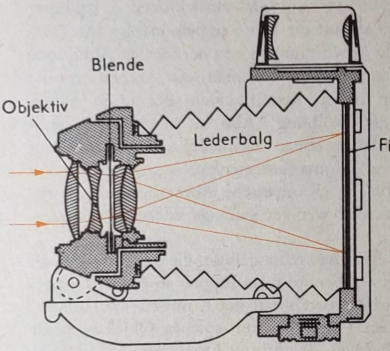


Abb. 3 Balgkamera

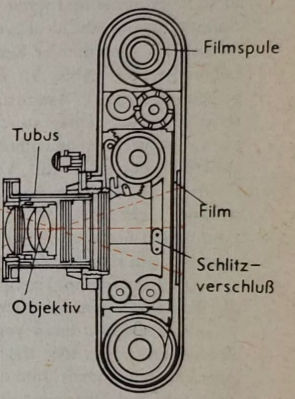


Abb. 4 Tubuskamera

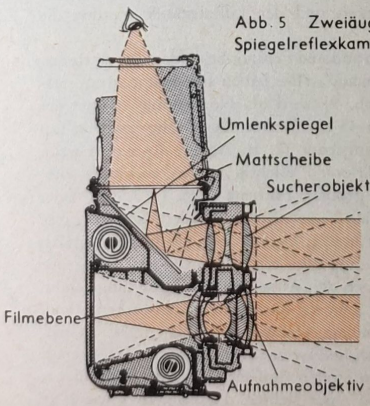


Abb. 5 Zweiäugige Spiegelreflexkamera

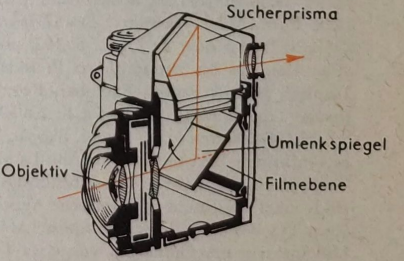


Abb. 6 Einäugige Spiegelreflexkamera

PHOTOGRAPHISCHE OBJEKTIVE

Der wichtigste Bestandteil eines Photoapparates ist das Objektiv. Es soll von dem abzubildenden Gegenstand ein über das ganze Aufnahmeformat scharfes, ebenes, maßgetreues und helles Bild entwerfen.

Das einfachste Objektiv ist ein sehr kleines Loch, das dank der geradlinigen Ausbreitung des Lichts eine Abbildung vermittelt (Abb. 1). Jedoch sind Aufnahmen mit der „Lochkamera" nicht besonders scharf, da ein Punkt nur als Scheibe wiedergegeben wird, die nie kleiner als das Loch sein kann. Wegen der sehr kleinen Öffnung ist auch die Lichtstärke (s. S. 192) äußerst gering.

Durch ihre Fähigkeit, Strahlen eines größeren Bündels in einem Punkt zu vereinigen, erscheinen Linsen für eine scharfe, lichtstarke Abbildung geeignet. Abb. 2 zeigt schematisch den Vorgang der Bildentstehung nach den Abbildungsgesetzen (s. Linsen S. 166). Da jedoch Lichtstrahlen, besonders wenn sie von einem Punkt weiter abseits der optischen Achse herkommen, ganz verschiedene Wege in Luft und Glas zurücklegen, je nachdem an welcher Stelle und unter welchem Winkel sie auf die Linse treffen, erfolgt ihre Vereinigung nicht mehr ideal in einem Punkt. Die Abweichungen von der idealen Abbildung werden als Linsenfehler bezeichnet. Die Hauptfehler sind: sphärische Aberration oder Öffnungsfehler (Abb. 3; die Randstrahlen treffen sich in einem der Linse nähergelegenen Punkt), Astigmatismus und Bildfeldwölbung (Abb. 4; zueinander senkrecht liegende, schräg durch eine Linse fallende ebene Strahlenbüschel werden auf zwei verschiedenen gewölbten Schalen vereinigt), Koma (kometenhaft verbreiterte Punkte außerhalb der Bildmitte), Verzeichnung (Abb. 5), chromatische Aberration oder Farbfehler (Abb. 6; Licht größerer Wellenlänge wird weniger stark gebrochen als kürzerwelliges Licht; s. S. 164).

Kombiniert man nun mit einer Sammellinse eine Zerstreuungslinse, die ihrer Form nach nur eine halb so große (negative) Brechkraft hat, aber aus Glas doppelt so großer Dispersion (Farbzerstreuung) hergestellt ist, so wird die Brechkraft der Kombination halbiert, die Farbfehler werden aber ganz aufgehoben (Abb. 7). Ein solches Objektiv heißt *Achromat*, es wird meist verkittet hergestellt (Abb. 8) und mit Öffnungen bis 1 : 9 für Boxkameras verwendet. In ähnlicher Weise geht der Optikrechner auch gegen die anderen Abbildungsfehler vor. Ihm stehen dafür mehrere hundert Glassorten mit unterschiedlicher Brechzahl und Dispersion zur Verfügung. Durch Variation der Anzahl der Linsen, ihres Glases, der Krümmungsradien, der Linsendicken und der Luftabstände werden die Fehler auf ein unschädliches Maß verringert.

Bei allen lichtstarken Objektiven muß neben den anderen Fehlern besonders der Astigmatismus behoben sein, sie heißen dann „Anastigmate". Hier haben sich einige grundsätzliche Formen sehr bewährt: Das *Triplett* (Abb. 9) wird als Normalobjektiv mit der Öffnung 1 : 3,5 oder 1 : 2,8 (s. S. 192) und mit 45 bis 50 mm Brennweite heute in fast allen Kameras bis zur mittleren Preisklasse eingebaut (z. B. Agnar, Apotar, Cassar, Lanthar, Novar, Pantar, Radionar, Reomar, Triotar). Wichtig ist das verkittete vierlinsige Triplett (Abb. 10), meist 1 : 2,8/50, für größere Formate auch 1 : 3,5/75, oder 1 : 4,5/105–300 mm (z. B. Elmar, Skopar, Solinar, Tessar, Xenar, Ysarex). Daneben gibt es fünflinsige Varianten (z. B. Apo-Lanthar, Elmarit, Heliar) und die kaum noch als Triplett erkennbaren vier- bis siebenlinsigen Ausführungsformen des Sonnars. Für große Bildwinkel erleichtern symmetrische Anordnungen den Ausgleich der Abbildungsfehler. Zum Typ des *Gauß-Doppelanastigmat* (Abb. 11) gehören die meisten lichtstarken Kleinbildobjektive mit Öffnungen von etwa 1 : 2 (Biotar, Heligon, Pancolar, teilw. Planar, Auto-Quinon, Solagon, Ultron, Xenon); ein Kittglied ist zu einer Linse zusammengefaßt bei den für die Formate 6×6 bis 9×12 cm bestimmten fünflinsigen Objektiven Planar und Xenotar. Teilweise wurde durch Einfügen einer siebten oder achten Linse gute Korrektion bei höchster Lichtstärke (1 : 2 bis 1 : 1,4) möglich (Nokton, teilw. Planar, Septon, Summicron, Summilux). – Weitere Kombinationen s. Wechselobjektive S. 186.

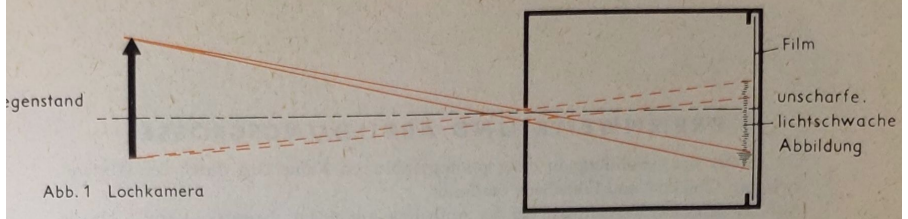


Abb. 1 Lochkamera

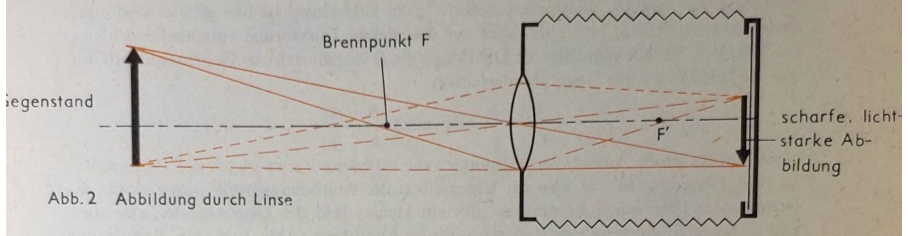


Abb. 2 Abbildung durch Linse

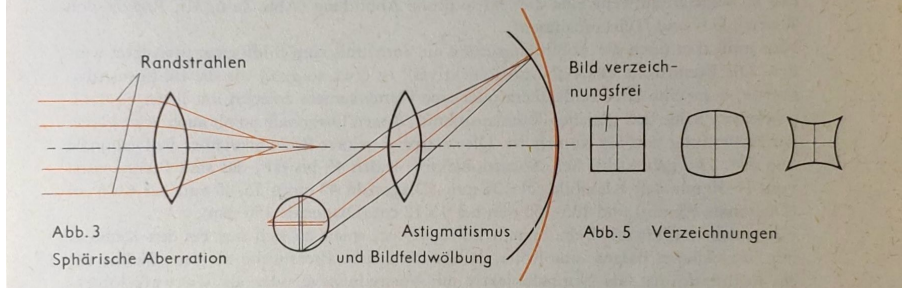


Abb. 3
Sphärische Aberration

Astigmatismus
und Bildfeldwölbung

Abb. 5 Verzeichnungen

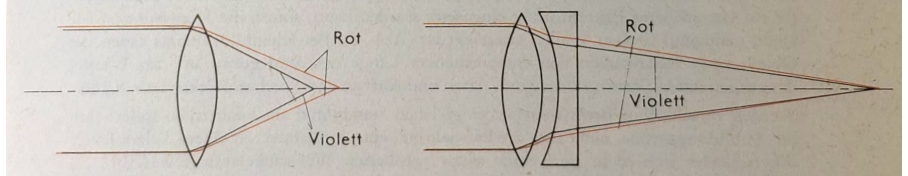


Abb. 6 Farbfehler

Abb. 7 Behebung des Farbfehlers

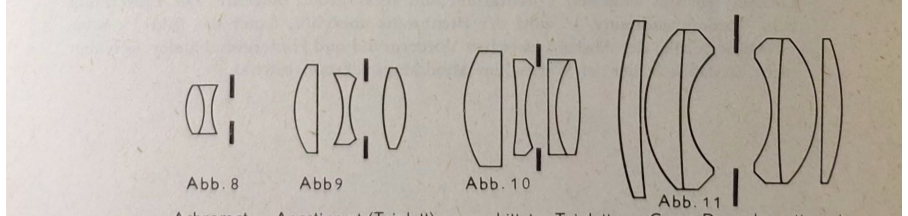


Abb. 8 Achromat

Abb 9 Anastigmat (Triplett)

Abb. 10 verkittetes Triplett

Abb. 11 Gauss-Doppelanastigmat

Grundformen photographischer Objektive
(Aufnahmegegenstand jeweils links zu denken)

BRENNWEITE UND ABBILDUNGSGRÖSSE

Die Größe der Abbildung in einer photographischen Kamera ist durch den Abstand zwischen Objektiv und Filmebene bestimmt.

Abb. 1a zeigt die Verhältnisse bei der Aufnahme mit einem „Normalobjektiv", 1b die Aufnahme mit einem „Weitwinkelobjektiv"; der Bildwinkel ist hier größer und erfaßt einen weiteren Raum, bildet ihn aber auf das gleiche Filmformat entsprechend kleiner ab. Aus Abb. 1c läßt sich ablesen: Die Bildgröße B verhält sich zur Gegenstandsgröße G wie die Bildweite b zur Gegenstandsweite g:

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g}, \text{ oder auch: } \frac{B}{b} = \frac{G}{g}.$$

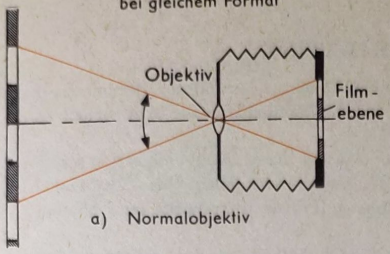
Nachdem für große Aufnahmeentfernungen die Bildweite b etwa gleich der Brennweite f ist (vgl. Linsen S. 166), ist also im allgemeinen die Abbildungsgröße proportional der Brennweite: Eine kurze Brennweite gibt ein kleines Bild des Gegenstandes, eine dreimal so lange Brennweite eine dreimal so große Abbildung (Abb. 3a u. 3b; Prinzip von Weitwinkel- und Teleaufnahmen).

Nun muß aber noch die Abbildungsgröße im Verhältnis zum Bildformat betrachtet werden. Die Brennweite eines „Normalobjektives" ist etwa so groß wie die Bildformatdiagonale, d. h., eine Kleinbildkamera oder eine Plattenkamera erfassen mit ihren Normalobjektiven beide den gleichen Raumausschnitt, dessen Diagonale somit auch etwa gleich der Entfernung von der Kamera ist. Dies entspricht einem Bildwinkel über die Diagonale von 53°. Die gebräuchlichen Normalobjektive haben 45 bis 60°, das sind Brennweiten von 45–50 mm bei Kleinbild 24×36 mm (Diagonale 43 mm), 75–85 mm bei 6×6 cm (Diagonale 85 mm) und 135–150 mm bei 9×12 cm (Diagonale 150 mm).

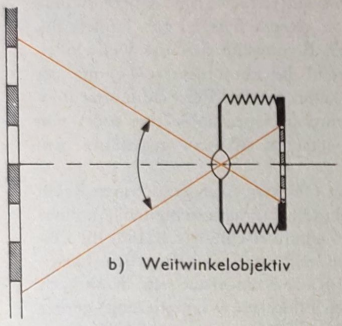
Für welchen Bildwinkel ein System korrigiert ist, spielt an sich nur bei den Kameras mit ausziehbaren Bälgen eine Rolle, da hier die gleiche Brennweite als Fernobjektiv für ein Rollfilmformat, als Normalobjektiv mit Verstellreserve oder als Weitwinkelobjektiv für ein größeres Plattenformat eingesetzt werden kann, sofern die Konstruktion für einen genügend großen Winkel ausgelegt ist (Abb. 2). Bei Kleinbildkameras sitzen die Objektive in Rohrstutzen von entsprechender Länge und sind genau auf den Winkel des ausgenützten Formats korrigiert (Arten und Aufbau von Wechselobjektiven s. S.186).

Werden verschiedene Brennweiten vom gleichen Standpunkt aus benützt, so ändert sich die Abbildungsgröße, nicht aber die Perspektive; eine Aufnahme mit einem Teleobjektiv unterscheidet sich nicht von einer nachvergrößerten Weitwinkelaufnahme (Abb. 3a u. 3b). Weitaus günstiger ist der Einsatz von verschiedenen Brennweiten zur Änderung der Perspektive durch Änderung des Abstands. Abb. 3b u. 3c zeigen, wie sich das Größenverhältnis zwischen Vordergrund und Hintergrund umkehrt: Die Entfernung zum Vordergrundmotiv V wird der Brennweite angepaßt, damit das Bild V' seine Größe beibehält; der Abstand zwischen Vordergrund und Hintergrund ändert sich aber nicht, so daß sich hier der Wechsel im Abbildungsmaßstab auswirkt.

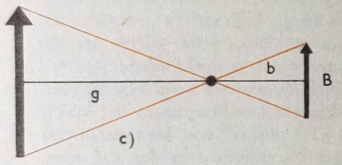
Abb. 1 Verschiedene Brennweiten bei gleichem Format



a) Normalobjektiv

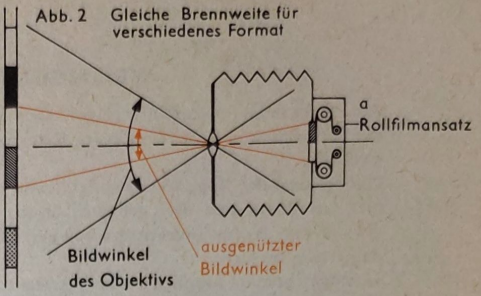


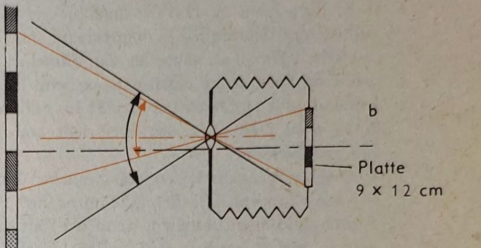
b) Weitwinkelobjektiv

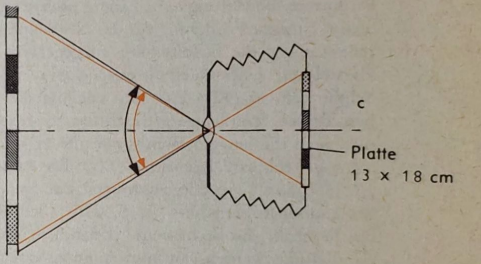


c)

Abb. 2 Gleiche Brennweite für verschiedenes Format







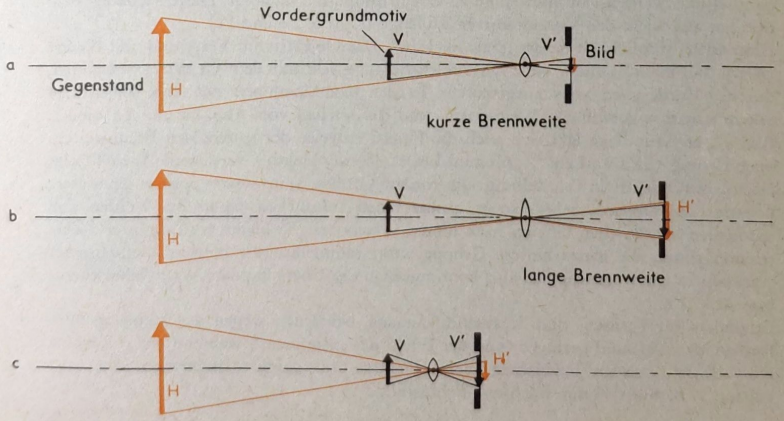


Abb. 3 Brennweite und Perspektive

WECHSELOBJEKTIVE

Zur Anpassung des Abbildungsmaßstabes an die Objektgröße und zur Beeinflussung der Perspektive (vgl. S. 184) gibt es Kameras mit der Möglichkeit, die Brennweiten zu wechseln.

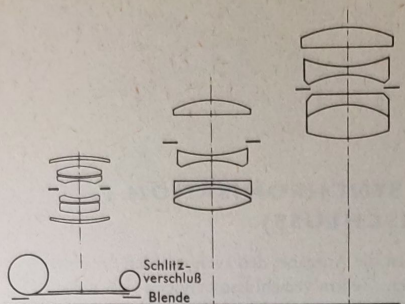
Die Systeme des Brennweitenwechsels und der Aufbau dieser Wechselobjektive sollen hier jeweils an den drei gebräuchlichsten Brennweiten des Kleinbilds (Weitwinkel etwa 35 mm, Normalobjektiv etwa 50 mm, halblange [Porträt-]Brennweite etwa 85 mm) dargestellt werden:

Uneingeschränkte Möglichkeit zum Austausch der Objektive bietet der Schlitzverschluß (s. S. 190; Abb. 1). Das Normalobjektiv (1 b) ist in diesem Beispiel ein Triplett mit verkittetem Hinterglied. Entsprechend seiner kurzen Brennweite sitzt das Weitwinkelobjektiv (Abb. 1 a) näher an der Filmebene, während das Fernobjektiv (1 c) mit der größeren Brennweite einen entsprechend längeren Tubus besitzt. Für Schlitzverschlußkameras gibt es Objektive von 21 bis 600 mm Brennweite, Spezialobjektive sogar von 8 bis etwa 2000 mm, das entspricht einem 0,16–40fachen Maßstab gegenüber dem Normalobjektiv.

Einäugige Spiegelreflexkameras brauchen hinter dem Objektiv einen bestimmten Raum für den Klappspiegel; diese „Schnittweite" kann kein Objektiv unterschreiten. Ähnliche Einschränkungen bestehen, wenn bei Kameras mit Zentralverschluß (s. S. 188) die Objektive auswechselbar sein sollen: Der Verschluß muß statt zwischen den Linsen direkt hinter dem herausnehmbaren Objektiv in die Kamera eingebaut sein, damit auch bei kurzen Belichtungszeiten die Abschattung in den Bildecken (Vignettierung) gering bleibt. Ist diese Forderung für das Normalobjektiv (2 b) erfüllt, so ist wie bei der Spiegelreflexkamera die Schnittweite vorgegeben. Mit erhöhtem Aufwand ist trotzdem die Herstellung eines Weitwinkelobjektivs möglich, dessen Brennweite kürzer als die Schnittweite ist (Abb. 2 a). Sehr vereinfachend kann man es als Normalobjektiv beschreiben, dessen Strahlengang durch das zerstreuende Glied aufgeweitet wird. Ebenso muß nun auch die längere Brennweite direkt vor den Verschlußlamellen sitzen; das schafft ein sog. „echtes Teleobjektiv" (2 c). Das sammelnde „Telepositiv" und das zerstreuende „Telenegativ" ergeben zusammen ein System langer Brennweite von der Art eines holländischen Fernrohrs (s. S. 176); der Unterschied zu diesem besteht darin, daß ein Fernrohr die Brennweite „Unendlich" hat, denn die Strahlen verlassen das Okular parallel und werden erst vom Auge zu einem Bildpunkt vereinigt. Diese Telekonstruktion hat allgemein den Vorzug kurzer Baulänge (s. Abb. 2 c und 1 c).

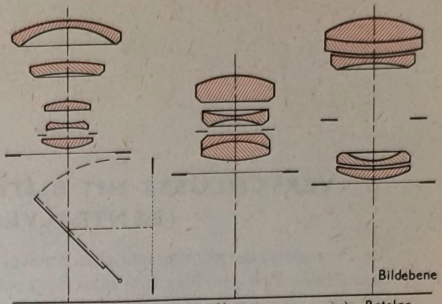
Eine dritte Möglichkeit ist das „Satzobjektiv". Das Objektiv mit Verschluß und Blende ist wie bei einer Kamera ohne Wechseleinrichtung fest mit dem Gehäuse verbunden, nur das Vorderglied wird ausgetauscht. In den Kombinationen der Abb. 3 a und 3 c erkennt man ungefähr den Weitwinkel- und Teleaufbau von Abb. 2 a und 2 c wieder. Auf dieser Grundlage läßt sich auch die Funktionsweise der stufenlosen Brennweitenveränderung („Zoom-Lens", „Gummi-Linse", Varioobjektiv) verstehen. Abb. 4 zeigt ein solches Objektiv in Telestellung. Die vordere Gruppe ist insgesamt positiv, die hintere negativ; das Objektiv zeigt also im groben einen Teleaufbau wie in 2 c. Werden nun die beiden beweglichen Glieder nach hinten verschoben, so bleibt vorn die große Zerstreuungslinse, die ganze hintere Gruppe wirkt sammelnd (die mittlere bleibt immer etwa neutral), es vollzieht sich also kontinuierlich der Übergang zum Weitwinkelschema von Abb. 2 a.

Besonders für Fernseh- und Schmalfilmkameras, bei denen wegen des kleineren Bildformats der Aufwand geringer (und der Effekt des „Zoomens" während der Aufnahme reizvoll) ist, werden inzwischen Varioobjektive mit großen Brennweitenumfängen gebaut, z. B. 8 bis 48 mm für 8-mm-Schmalfilm.



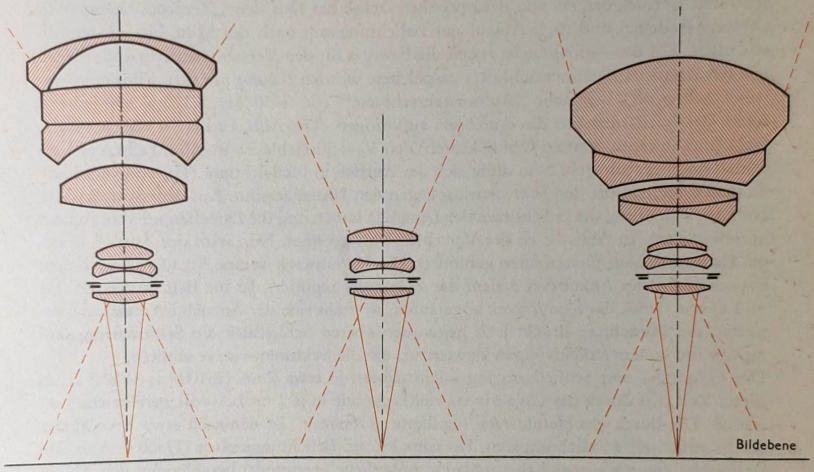
a) Summaron 1:2,8; f = 35 mm
b) Elmar 1:2,8; f=50 mm
c) Elmar 1:4; f=90 mm

Abb. 1 Wechselobjektive ohne Nebenbedingung Leitz-Objektive zur Leica



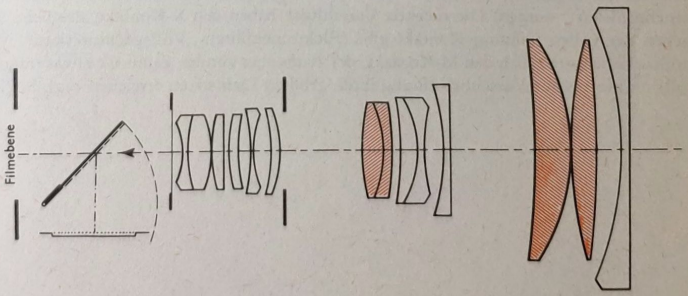
a) Eurygon 1:4; f=35 mm
b) Ysarex 1:2,8; f=50 mm
c) Rotelar 1:4; f=85 mm

Abb. 2 Rodenstock - Wechselobjektive für nachgesetzten Zentralverschluß (und/oder Spiegelreflexkameras)



a) Pantar in Weitwinkelkombination 1:4: f=30 mm
b) Pantar 1:2,8; f=45 mm Zeiss
c) Pantar in Telekombination 1:4; f=75 mm

Abb. 3 Satzobjektiv: Nur die Vorderlinse (Vorderglied) wird gegen ein Linsensystem ausgetauscht



Zoomar (Voigtländer); 1:2,8; f=36 bis 82 mm;
hier in Telestellung 82 mm, durch Verschieben der beiden schraffierten Glieder in Pfeilrichtung wird die Brennweite kontinuierlich verkürzt.

Abb. 4 Objektiv mit stufenlos veränderlicher Brennweite für Spiegelreflexkameras mit nachgesetztem Zentralverschluß oder Schlitzverschluß

VERSCHLÜSSE MIT BLITZSYNCHRONISATION I (ZENTRALVERSCHLUSS)

Der Verschluß der photographischen Kamera hat die Aufgabe, den Lichtstrahlen für eine einstellbare Zeit den Weg zum Film freizugeben. Zentralverschlüsse befinden sich meist zwischen den Linsen des Objektivs in der Blendenebene, in Sonderfällen auch direkt hinter dem Objektiv.

Die Wirkungsweise des Zentralverschlusses besteht darin, daß mehrere (meist 5) dünne Stahlfolien (Verschlußlamellen oder Verschlußsektoren) so um feste Drehpunkte verschwenkt werden, daß sie von der optischen Achse her (aus dem „Zentrum" heraus) die Öffnung freilegen und nach Ablauf der Belichtungszeit nach der Mitte hin wieder verschließen. Vor der Aufnahme ist zuerst die Energie für den Verschlußantrieb durch Spannen einer Feder („Spannverschluß") gespeichert worden (häufig mit dem Filmtransporthebel gekoppelt). Einfache „Automatverschlüsse" (ca. 1/30 bis 1/125 s) werden erst durch das Niederdrücken des Auslösers aufgezogen. Die Abb. 1a bis 1d zeigen vereinfacht (nur an einem statt an fünf Sektoren) den Verschlußablauf: In Abb. 1a ist der Verschluß noch geschlossen. Nun dreht sich der Antrieb in Pfeilrichtung (1b) und verschiebt an dem Öffnungsstift den Sektorenring gegen den Uhrzeigersinn. Auf dem Sektorenring befinden sich Stifte, die in Schlitzen der Lamellen laufen und die Lamellen um ihre Achsen verschwenken. In Abb. 1c ist der Verschluß voll geöffnet. Nun wird der Antrieb durch ein Hemmwerk am Weiterlaufen gehindert. Das Hemmwerk ist eine Art Uhrwerk, in dem ein schwingender Anker den Ablauf der Zahnräder reguliert. Ist die Belichtungszeit (bis zu 1 s) und damit das Hemmwerk abgelaufen, so dreht sich der Antrieb im gleichen Sinn weiter, ein Mitnehmer drückt jetzt gegen den oberen Schließstift am Sektorenring und zwingt ihn zu einer rückläufigen Bewegung, die die Sektoren wieder schließt.

Der Öffnungs- und Schließvorgang allein dauern je etwa 2 ms (2/1000 s; Abb. 2a); in dieser Zeit tritt durch das Objektiv so viel Licht wie in je 1 ms bei voll geöffnetem Verschluß. Die durch das Hemmwerk regulierte „Offenzeit" ist demnach etwa 2 ms kürzer als die eingestellte Belichtungszeit. Bei ganz kurzen Belichtungszeiten (1/500 s; Abb. 2b) ist das Hemmwerk ausgeschaltet und eine zusätzliche Spannfeder beschleunigt den Ablauf noch mehr.

Bei eingebautem Selbstauslöser wird beim Auslösen erst das „Vorlaufwerk" in Gang gesetzt, das dann nach 5 bis 10 s den Sektorenablauf einleitet.

Bei Blitzaufnahmen muß das Aufleuchten des Blitzes mit der Öffnung des Verschlusses „synchronisiert" werden. Die meisten Verschlüsse haben den X-Kontakt, der beim Erreichen der vollen Öffnung Kontakt gibt (Elektronenblitz). „Vollsynchronisierte" Verschlüsse haben zusätzlich den M-Kontakt, der 16 ms eher zündet, damit die etwas trägeren Kolbenblitze bis zur Verschlußöffnung ihren größten Lichtstrom erreichen (vgl. S. 212).

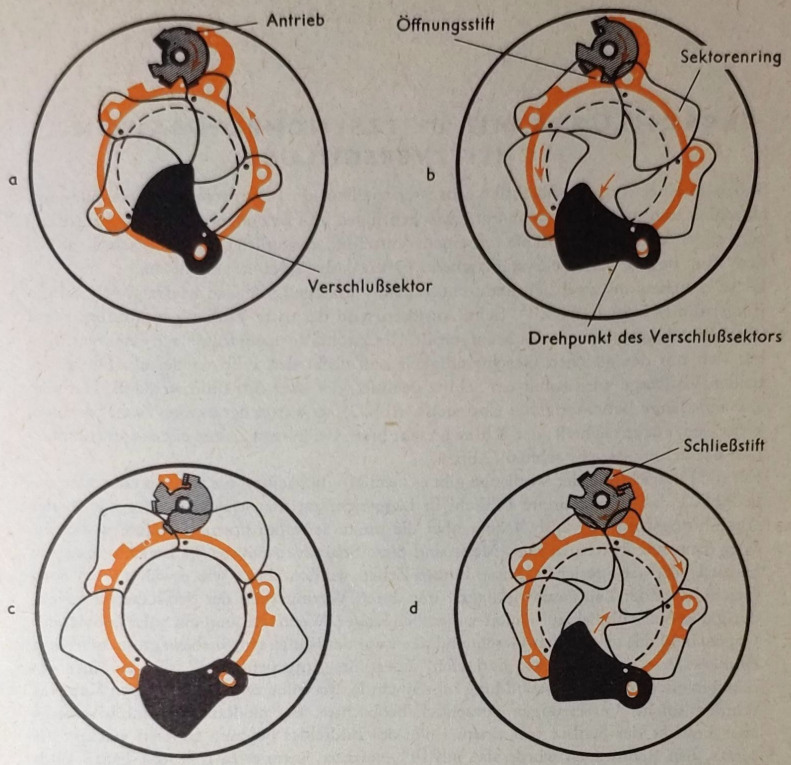


Abb. 1 Bewegungsablauf eines Verschlußsektors

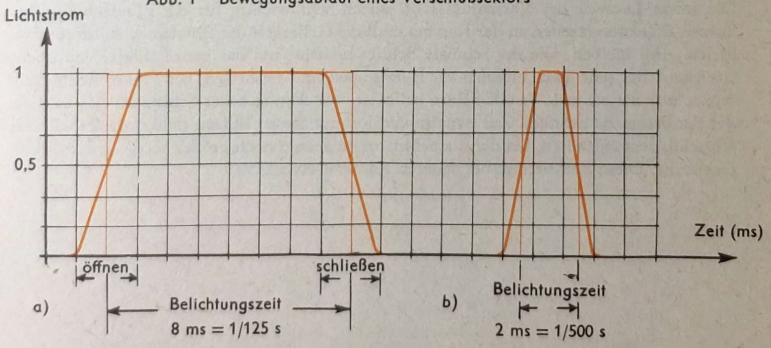


Abb. 2 Lichtstrom-Zeit-Diagramm eines Zentralverschlusses

VERSCHLÜSSE MIT BLITZSYNCHRONISATION II (SCHLITZVERSCHLUSS)

Sollen an einer Kamera Objektive kürzester wie längster Brennweite gegeneinander austauschbar sein, soll die Kamera mit Zwischenringen und Balgengerät oder am Mikroskop verwendet werden, so muß sie mit einem Verschluß ausgerüstet sein, der sich dicht vor dem Film bewegt. Solche Systemkameras haben deshalb Schlitzverschlüsse.

Diese bestehen aus zwei lichtundurchlässigen Vorhängen, die sich in der gleichen Führungsbahn bewegen (Abb. 1). Beim Auslösen wird der erste Vorhang weggezogen und durch eine Feder auf einer Spule aufgerollt. Der zweite Vorhang folgt nach einer bestimmten Zeit mit der gleichen Geschwindigkeit und deckt den Film wieder ab. Durch die beiden Vorhänge wird somit ein Schlitz gebildet, der über den Film wegläuft. Hat man also eine lange Belichtungszeit eingestellt (Abb. 2), so wartet der zweite Vorhang lange, bis er dem ersten nacheilt; der Schlitz ist sehr breit. Bei kurzen Zeiten eilt er sofort hinterher, der Schlitz ist sehr schmal (Abb. 3).

Für die Laufrichtung der Vorhänge gibt es zwei Möglichkeiten: Sie können entweder wie in Abb. 1 das 36 mm breite Bildfeld in Längsrichtung überstreichen, oder wie in der Ausführungsform der Abb. 4 quer über die breite Seite des Formats laufen, wobei ihr Weg dann nur 24 mm beträgt. Meist sind diese Schlitzverschlüsse für Belichtungszeiten bis zu 1/1000 s eingerichtet. Diese kurzen Zeiten werden aber – wie erwähnt – bei etwa gleichbleibender Laufgeschwindigkeit nur durch Verringerung der Schlitzbreite erzielt, der ganze Verschlußablauf dauert wesentlich länger. Wenn sich nun ein aufzunehmender Gegenstand mit sehr großer Geschwindigkeit vor der Kamera vorbeibewegt, so kann sein Bild mit dem Schlitz etwas „mitlaufen" oder ihm „entgegenlaufen", was zu einer gedehnten oder verkürzten Abbildung führen würde. Bei früheren großformatigen Kameras wurden solche Verzerrungen tatsächlich beobachtet. Bei modernen Kleinbildkameras aber braucht der Schlitz von einem Ende des Bildfeldes bis zum anderen weniger als 1/50 s. Ein Rennwagen würde also um 10% verzerrt, wenn er in 1/5 s das ganze Bildfeld durchraste (bei Normaloptik 50 mm und 50 m Abstand hieße das 36 m in 1/5 s oder 648 km/Stunde!).

Die kurze Laufzeit des Verschlusses ist jedoch sehr wichtig für die Blitztechnik: Bei kurzen Belichtungszeiten an der Kamera muß die Helligkeit der Blitzlampe so lange etwa gleich groß bleiben, wie der schmale Schlitz braucht, um das ganze Bildfeld zu überstreichen. Bei sehr kurz brennenden Blitzlampen und besonders bei Elektronenblitzen würde nur der schmale Streifen Film belichtet, vor dem sich der Schlitz im Augenblick des Aufflammens befindet. Zur Synchronisation mit diesen Blitzen muß man deshalb die Verschlußzeit einstellen, bei der die Schlitzbreite gerade noch größer als das ganze Filmfenster ist. Diese Zeit beträgt bei neueren Kameras etwa 1/50 s.

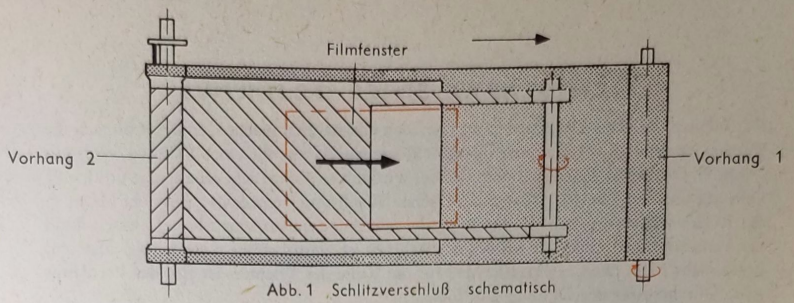


Abb. 1 Schlitzverschluß schematisch

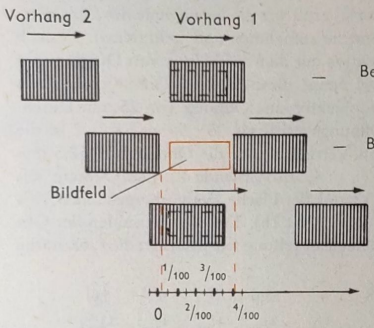


Abb. 2 Bewegung der Vorhänge bei längerer (1/25 s) Belichtungszeit

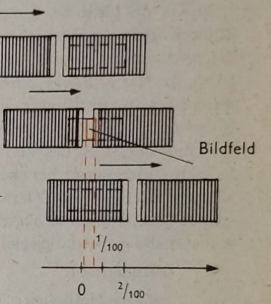


Abb. 3 Bewegung der Vorhänge bei kürzerer (1/200 s) Belichtungszeit

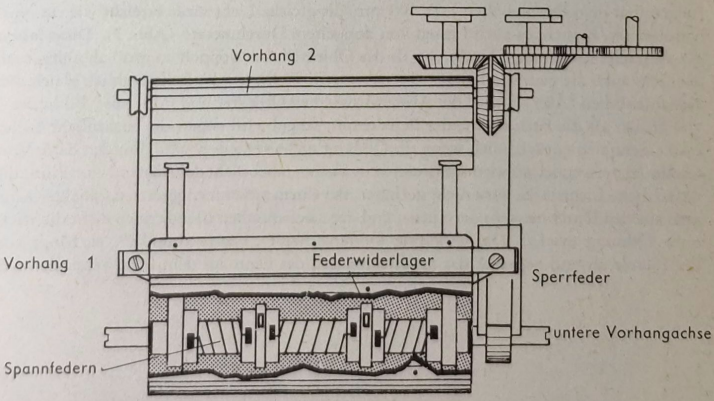


Abb. 4 Technische Ausführung eines Schlitzverschlusses

LICHTSTÄRKE EINES OBJEKTIVS

Die Lichtstärke eines Objektivs kann man sich anschaulich machen, indem man sich die Kamera tatsächlich als Kammer (als geschlossenen Raum mit einer Öffnung) vorstellt (Abb. 1). Die Wand gegenüber dem Fenster wird um so mehr Licht erhalten, je größer die Öffnung und je kürzer der Abstand zwischen Wand und Fenster ist. Steht ein Mann an der Rückwand, so ergeben alle Strahlen, die sein Auge treffen, einen Kegel, dessen Rand der Fensterrahmen bildet. Je größer der Rahmen ist, desto weiter wird der Trichter und desto mehr Licht fängt er ein. Ein Maß für die Weite des Trichters ist also das Verhältnis vom Durchmesser der Öffnung zur Tiefe.

In einer photographischen Kamera befindet sich an der Rückwand der Film, auf dem jeder Punkt eine der Weite der Öffnung entsprechende Lichtmenge erhält. Normalerweise ist der Abstand zwischen Objektiv und Film etwa so groß wie die Brennweite des Objektivs. Je größer die Linse ist, desto mehr Licht kann sie aufnehmen und weiterleiten. Deshalb kennzeichnet man die Lichtstärke eines Objektivs mit dem Verhältnis von Durchmesser der wirksamen Öffnung zur Brennweite und nennt diese Zahl das Öffnungsverhältnis (Abb. 2). Hat z. B. ein gebräuchliches Photoobjektiv eine Öffnung von 25 mm Durchmesser bei 50 mm Brennweite, so ist sein Öffnungsverhältnis 25 : 50 = 1 : 2; 2 ist die Blendenzahl, meist kurz „Blende 2" genannt. Verringern wir die Öffnung auf 12,5 mm Durchmesser, so ist das Verhältnis 12,5 : 50 = 1 : 4, also „Blende 4". Die Öffnung mit halbem Durchmesser hat aber nur noch ein Viertel der Fläche der vorhergehenden, läßt also auch nur noch ein Viertel an Licht hindurch (Abb. 2b). Die Blendenzahlen der Objektive sind deshalb so abgestuft, daß von einer Einstellung zur nächsten die Lichtstärke jeweils halbiert wird. Beispiel:

Blendenzahl:	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	16
relative Helligkeit:	1	$^1/_2$	$^1/_4$	$^1/_8$	$^1/_{16}$	$^1/_{32}$	$^1/_{64}$	$^1/_{128}$

Damit ist ein Objektiv bei Blende 2,8 sechzehnmal lichtstärker als bei Blende 11; genügt bei Blende 2,8 z. B. eine Belichtungszeit von $^1/_{500}$ s, so muß bei Blende 11 sechzehnmal länger belichtet werden, also $^1/_{30}$ s. Damit ein Teleobjektiv von größerer Brennweite (gegenüber dem Beispiel oben z. B. 100 mm) die gleiche Lichtstärke erreicht wie ein Normalobjektiv, braucht es auch Linsen von doppeltem Durchmesser (Abb. 3). Diese lassen die vierfache Lichtmenge hindurch; da das Objektiv aber doppelt so groß abbildet, muß das Licht auch die vierfache Fläche ausleuchten, die Helligkeit bleibt tatsächlich gleich. Bei Nahaufnahmen (Abb. 4) wird der Abstand zwischen Objektiv und Film (die „Bildweite") viel größer als die Brennweite, der Beleuchtungskegel wird enger, die tatsächliche Lichtstärke geht also zurück, auch wenn die Öffnung nicht verändert wird. Werden dafür Vorsatzlinsen verwendet, so wird die Brennweite kleiner, aber nicht der Abstand zum Film; die tatsächliche Lichtstärke wird nicht geringer. Bei einem zusammengesetzten Objektiv kann man aus den Durchmessern der Linsen und der mechanischen Blende noch nicht die wirksame Öffnung ersehen. Die wirksame Öffnung heißt „Eintrittspupille"; sie hängt von der Blende ab und begrenzt das Strahlenbündel, das dann auf dem Film vereinigt wird.

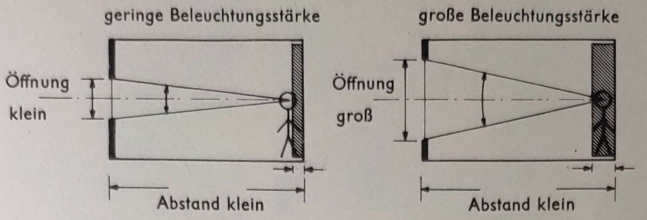


Abb. 1

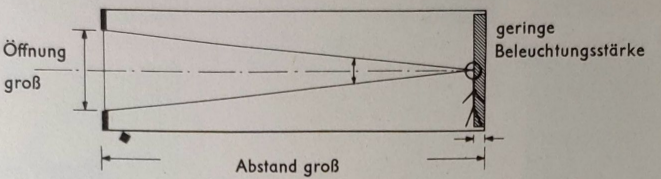


Abb. 2 Öffnungsverhältnisse

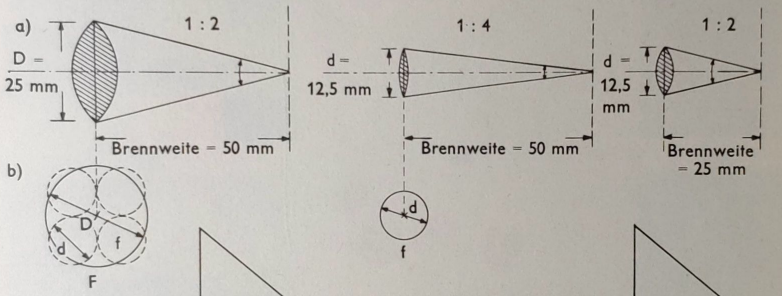
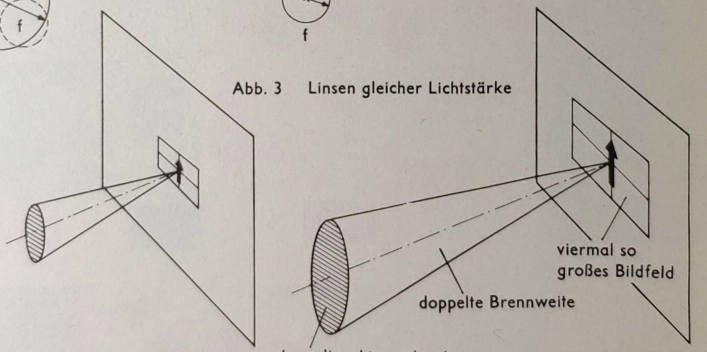


Abb. 3 Linsen gleicher Lichtstärke



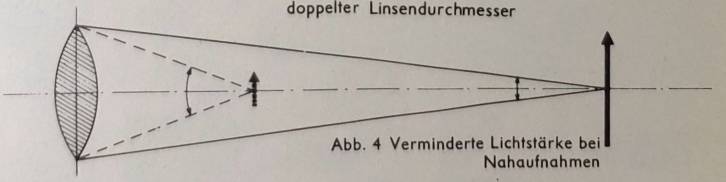
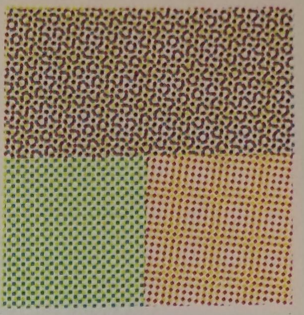


Abb. 4 Verminderte Lichtstärke bei Nahaufnahmen

1a

1b



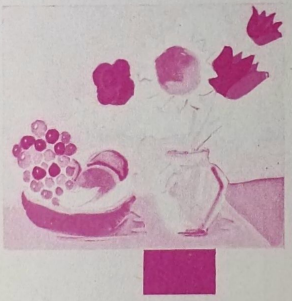
1c

2a

2b

2c

3a



3b

3c

4

5

6

FARBDRUCK

Der Farbdruck hat in die Praxis viel früher Eingang gefunden als die Farbphotographie. In seiner einfachsten Form stellt er sich dar als Eindruck von farbigen Textzeilen, Flächen oder Figuren in das einfarbige Druckerzeugnis. Im engeren Sinn versteht man jedoch unter Farbdruck das mehrfarbige Gestalten eines Druckbogens oder die Reproduktion einer mehrfarbigen Vorlage mit drei oder mehr Farben.

Wenn man eine Fläche mit Punkten in den drei Grundfarben (Gelb, Rot, Blau) mosaikartig bedeckt (Abb. 1c) und diese Fläche aus genügender Entfernung betrachtet (die einzelnen Farbpunkte dürfen sich nicht mehr unterscheiden lassen), so entsteht der Eindruck, die Fläche sei grau. Wenn man auf einer Fläche zahlreiche Punkte zweier der Grundfarben nebeneinandersetzt, so entsteht beim Betrachten aus genügender Entfernung der Eindruck einer Mischfarbe (Abb. 1c). Dieses Zusammensehen ist eines der Grundprinzipien des Farbdruckes. Zunächst werden von der farbigen Vorlage, die man zu reproduzieren wünscht, auf photographischem Wege Farbauszüge hergestellt. Dazu werden Farbfilter in den Komplementärfarben des jeweils gewünschten Farbauszuges verwendet. Die Abb. 1a bis 1b, 2a bis 2b und 3a bis 3b zeigen nebeneinander die Farbe des Filters und die dadurch entstandenen Farbauszüge. Wir haben oben gesagt, daß die Fläche, die mit den Farbpunkten der einzelnen Grundfarben bedeckt ist, beim Betrachten grau erscheint. Dies liegt daran, daß die weiße Farbe des Papiers an vielen Stellen herauskommt. Aus diesem Grund wird zusätzlich zu den Farbauszügen eine Schwarzaufnahme hergestellt (Abb. 4), die erstens weiße Flächen wegnimmt und zweitens dem Gesamtbild Kraft und Konturen verleiht.

Nach den beschriebenen Teilauszügen werden für den eigentlichen Druck mit verschiedenen Methoden, die sich u. a. nach dem verwendeten Druckverfahren richten (z. B. Buchdruck, Tiefdruck, Offsetdruck), Druckplatten oder Druckzylinder geätzt. Sie nehmen im Druckprozeß die Druckfarbe auf und übertragen sie auf das Papier. Die Abb. 2c, 3c und 5 zeigen, wie durch das Übereinanderdrucken der vier verwendeten Druckplatten allmählich das farbige Wiedergabebild entsteht. Der in Abb. 6 (Vergrößerung des umränderten Teils aus Abb. 5) gezeigte Ausschnitt macht deutlich, daß beim Übereinanderdrucken der einzelnen Druckplatten nicht nur vier Farben zustande kommen, sondern daß die Überlagerung der einzelnen Rasterpunkte (vgl. S. 532) auch die Mischfarben aus den Grundfarben entstehen läßt. Abb. 6 entspricht also der mit Lupe betrachteten Abb. 5. Betrachtet man Abb. 5 ohne Lupe oder Abb. 6 aus genügender Entfernung, so sieht man, daß die einzelnen Farb- und Mischfarbpunkte (insgesamt 8 Farben!) zu homogenen Farbflächen zusammentreten.

Um einen regulären Farbdruck zu erhalten, müssen viele Gesichtspunkte beachtet werden. So müssen die verwendeten Farbstoffe rein und transparent sein, unter Umständen muß man für die Wiedergabe besonders anspruchsvoller Vorlagen Hilfsfarben einsetzen. Schließlich ist es wichtig, paßgenau zu drucken und Schwankungen der Farbnuancen und der Farbintensitäten beim Auflagendruck zu vermeiden. In der Praxis muß häufig noch von Hand auf den einzelnen Farbauszügen (die noch ohne Raster hergestellt werden) nachgearbeitet werden, damit die letzten gewünschten Feinheiten herauskommen.

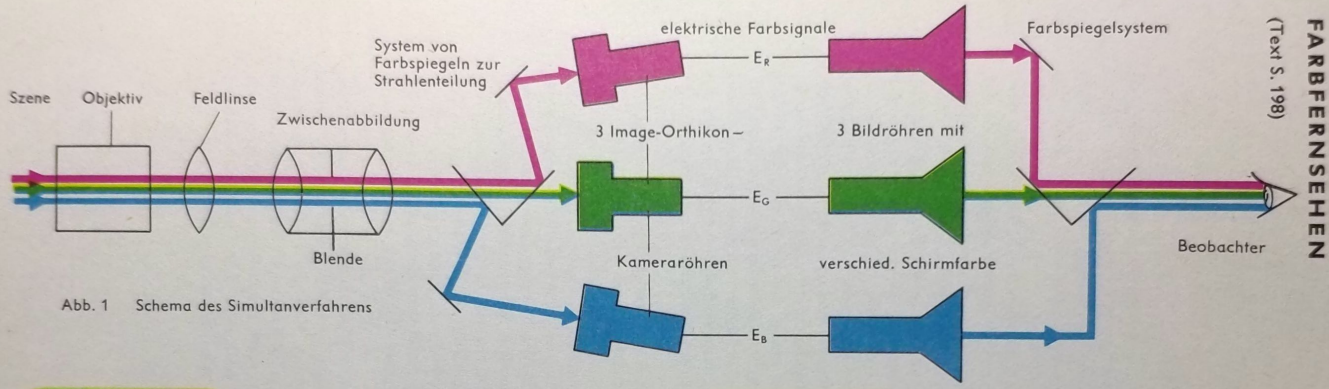
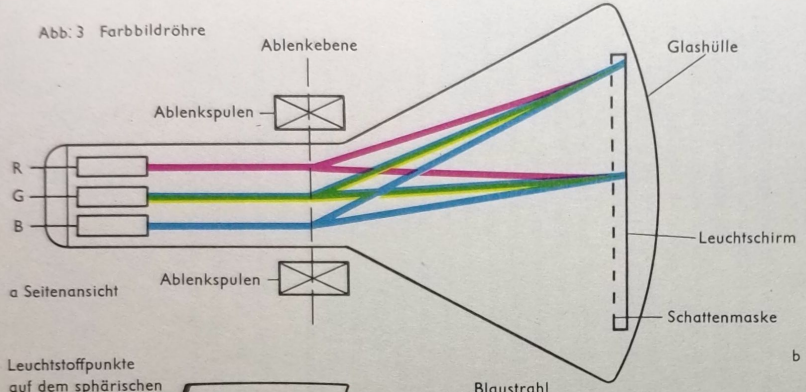


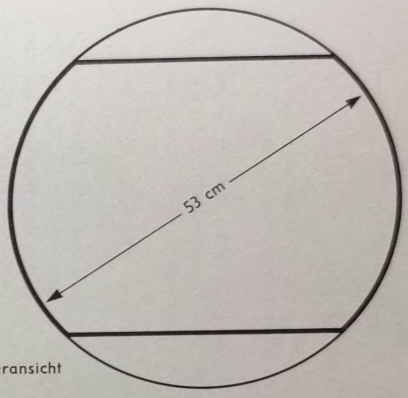
Abb. 1 Schema des Simultanverfahrens

Abb. 2

Abb. 3 Farbbildröhre

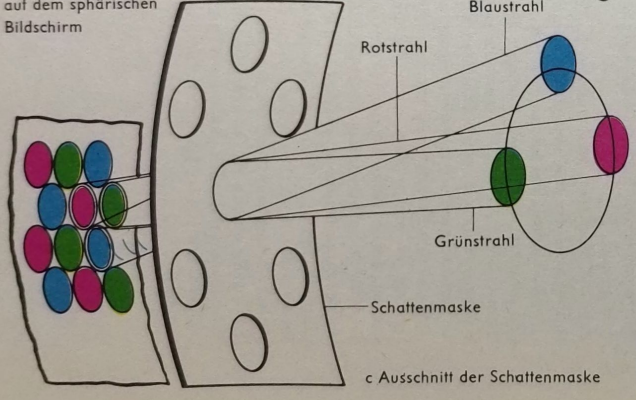


a Seitenansicht

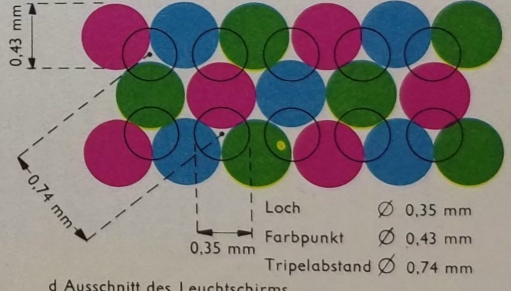


b Vorderansicht

Leuchtstoffpunkte auf dem sphärischen Bildschirm



c Ausschnitt der Schattenmaske



d Ausschnitt des Leuchtschirms

FARBFERNSEHEN

Farbfernsehen bedeutet die farbrichtige Wiedergabe von Vorgängen oder Vorlagen nach fernsehmäßiger Übertragung ohne merklichen Zeitverzug auf dem Empfängerbildschirm.

Grundprinzip: 1. Umwandlung der Farbtöne („Farben") und der Farbsättigung („Farbstärke") in elektrische Signale (Ströme oder Spannungen); 2. elektrische Übertragung über Leitungen oder drahtlos an den Empfangsort; 3. Rückwandlung in ein farbiges Bild.

Zur Umwandlung (Abb. 1, S. 196) werden mindestens drei Farbauszüge – wie z. B. beim Farbdruck in den Grundfarben Rot (R), Grün (G) und Blau (B) – mit drei Fernsehaufnahmekameras unter Verwendung von Farbfiltern hergestellt. Die einzelne Kamera gleicht der, die im Schwarzweißfernsehen benutzt wird (s. S. 152); die lichtempfindlichen Schichten der Kameraröhren sind den Filtern angepaßt. Die Abtastraster der drei Kameraröhren müssen Deckungsgleichheit (Konvergenz) besitzen, anderenfalls entstehen Farbsäume; aus dem gleichen Grund wird nur ein Objektiv mit Zwischenabbildung verwendet. Die Stärke der elektrischen Farbsignale E_R, E_G, E_B sind ein Maß für die Farbsättigung der drei Farbauszüge.

Mittels eines elektrischen Übertragungssystems werden die Farbsignale E_R, E_G und E_B gleichzeitig (simultan) drei Bildröhren zugeführt und wieder in die Farbauszüge R, G, B zurückverwandelt, wobei die drei Schirmbilder über farbtrennende (dichroitische) Spiegel im Auge der Beobachters als farbiges Gesamtbild in additiver Farbmischung vereint erscheinen. Große Probleme bringen die Übertragung und die Rückwandlung (Empfang). Heute hat sich in den USA, in Westeuropa und in der UdSSR der Kompromißvorschlag des National Television System Committee (NTSC-System) der USA durchgesetzt.

Beim NTSC-System wird aus den E_R-E_G-E_B-Signalen nach einem Schlüssel (Code) entsprechend der Augenempfindlichkeitskurve in einem „Coder" ein Helligkeitssignal (Luminanzsignal) E_Y gebildet, das mit voller Bandbreite von 5 MHz übertragen wird und am normalen Fernsehempfänger als Schwarzweißbild einer farbigen Vorlage erscheint (Abb. 2). Dieses Frequenzband ist jedoch nicht durchgehend vom Fernsehsignal besetzt, sondern zeigt gleichmäßig verteilte Lücken im Abstand der Zeilenfrequenz, in die die Farbinformation (Chrominanzsignal) eingeschaltet wird. Hierzu dient ein Farbhilfsträger, dessen Frequenz ein ungeradzahliges Vielfaches der halben Zeilenfrequenz ist. Sie liegt am oberen Ende des Übertragungsbereiches, im CCIR (Comité consultatif international de radio diffusion)-System bei 4,4296875 ($\approx$ 4,43) MHz. Dadurch wird die feine Perlschnurstörung des Farbhilfsträgers im Schwarzweißbild infolge der Trägheit des Auges nahezu ausgelöscht, weil in zwei aufeinander folgenden Zeilen eines Halbbildes die Stellen größter und kleinster Helligkeit der Perlschnur gerade unmittelbar übereinander liegen. Das NTSC-System ist somit für Schwarzweißempfänger voll verträglich (kompatibel). Zur Farbinformation genügt es, im Coder zwei Farbdifferenzsignale (z. B. E_R-E_Y und E_B-E_Y) zu bilden und diese über den in Amplitude (Farbsättigung) und Phase (Farbton) doppelt modulierten Farbhilfsträger zu übertragen. Das fehlende grüne Differenzsignal E_G-E_Y läßt sich am Empfangsort aus den beiden anderen leicht wiedergewinnen.

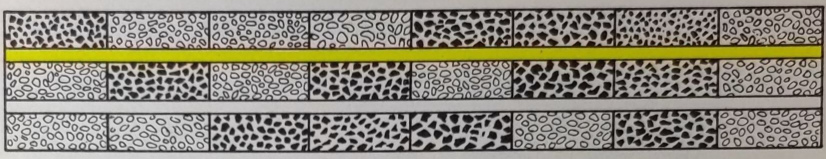
In der Praxis des NTSC-Systems werden statt E_R-E_Y und E_B-E_Y zwei neue Kombinationen E_I und E_Q wegen ihrer besseren Übertragungseigenschaften benutzt. Dabei genügt für E_I eine Bandbreite von 1,5 MHz und für E_Q von 0,6 MHz, weil das Auge Farbübergänge Orange→ Blaugrün (E_I) etwas schlechter und solche von Grün→ Purpur (E_Q) wesentlich schlechter als Helligkeitsübergänge auflösen kann. E_Y, E_I und E_Q modulieren die Bildträgerfrequenz eines Fernsehsenders.

Am Empfangsort entsteht das Helligkeitssignal E_Y unmittelbar nach der ersten Demodulation, während E_I und E_Q in einer zweiten Demodulation mittels des im Empfänger phasenrichtig zugesetzten Farbhilfsträgers gewonnen werden. Ein „Entschlüßler" (Decoder) bildet aus E_I und E_Q die Farbdifferenzsignale E_R-E_Y, E_G-E_Y und E_B-E_Y, von denen jeweils das Helligkeitssignal E_Y abgezogen wird, so daß die ursprünglichen drei Farbauszugsignale E_R, E_G und E_B wieder zur Verfügung stehen (Abb. 2, S. 196).

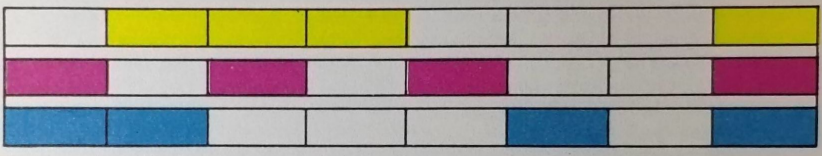
Die Farbbildröhre (Color cinescope) der RCA (Abk. für: Radio Corporation of America) ist das Herzstück des NTSC-Systems. Nach Abb. 3 (S. 197) enthält sie drei Elektronenstrahlerzeuger, die so ausgerichtet sind, daß ihre Strahlen gemeinsam durch eines der 357000 Löcher (0,35 mm ⌀) einer Lochblende (Schattenmaske; engl. shadow-mask) auf eine Dreiergruppe (Tripel) von rot, grün und blau aufleuchtenden Phosphorscheibchen (0,43 mm ⌀) fallen, die insgesamt den Farbbildschirm darstellen. Er enthält in regelmäßiger Anordnung $3 \times 357000 = 1071000$ Farbleuchtpunkte. Der Abstand zwischen Schirm und Maske beträgt 11,5 mm, der der Farbtripel untereinander 0,74 mm. Die Herstellungsschwierigkeiten der Schattenmasken-Farbbildröhre erschienen anfangs fast unüberwindlich; auch heute noch zählt die Herstellung dieser Röhren zu den Spitzenleistungen der Hochvakuumtechnik. Die für die drei Elektronenstrahlen gemeinsame magnetische Ablenkung muß so ausgeführt werden, daß sie auch am Bildrand gemeinsam durch das richtige Loch auf die richtigen Farbphosphorscheibchen fallen, da sonst Farbsäume entstehen. Das Helligkeitssignal E_Y wird den drei Kathoden der Strahlerzeuger gemeinsam, die drei Farbdifferenzsignale werden den zugehörigen Steuergittern (Wehnelt-Zylinder) getrennt zugeführt. Die Stärke der Elektronenstrahlen und damit die Leuchtkraft der Phosphorscheibchen hängt nur noch von E_R, E_G und E_B ab, so daß die drei Farbauszüge R, G, B gleichzeitig auf dem Farbbildschirm erscheinen.

Ein Farbfernsehempfänger besitzt gegenüber einem Schwarzweißgerät zwei zusätzliche Bedienungsgriffe, nämlich einen Farbtonregler und einen Farbsättigungsregler. Da das Farbbild etwa die dreifache Information eines Schwarzweißbildes enthält, ist der technische Aufwand und damit der Preis eines Farbfernsehempfängers rund dreimal so hoch wie der eines vergleichbaren Schwarzweißgerätes. In den Anfängen des Farbfernsehens wurde auch das technisch einfachere Sequentialverfahren (zeitliche Nacheinanderfolge der Farbauszüge) benutzt, bei dem vor Aufnahmekamera und Bildschirm je eine Scheibe mit R-G-B-Sektoren umlief. Die Vorteile dieses Verfahrens lagen darin, daß normale schwarzweißgeeignete Kamera- und Bildröhren verwendet werden konnten und daß eine sehr gute Bildqualität erreicht wurde; Nachteile ergaben sich aus der fehlenden Kompatibilität und daraus, daß im Empfänger umlaufende mechanische Teile eingesetzt werden mußten.

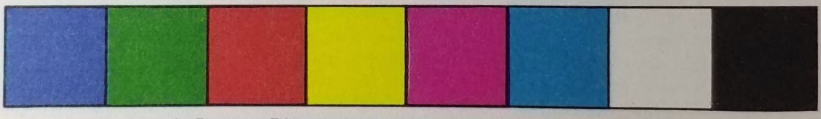
a) Objektfarben



b) Bildschichten des Films nach der ersten (Schwarzweiß-)Entwicklung: schwarze Körner = entwickeltes Silber, helle Körner = restliches Bromsilber; gelbe Filterschicht noch erhalten.



c) Dasselbe nach der fertigen Verarbeitung: Farben an dem restlichen Bromsilber entwickelt, Silber und Filtergelb herausgelöst.



d) Fertiger Film in der Durchsicht: Wiedergabefarben

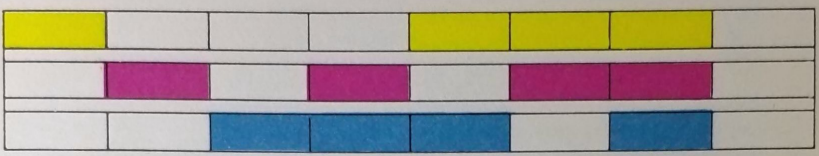
FARBPHOTOGRAPHIE

Umkehrverfahren und Negativ-Positiv-Verfahren

Es gibt zahlreiche sehr unterschiedliche Verfahren, photographische Aufnahmen in natürlichen Farben wiederzugeben; im Prinzip gleichen sich jedoch alle Verfahren: Man muß drei Grundfarbenbilder herstellen, die erst in ihrer Zusammenwirkung ein farbiges Bild erzeugen. Die einzelnen Verfahren der Farbphotographie unterscheiden sich darin, daß einmal z. B. ein bunter Gegenstand dreimal hintereinander aufgenommen wird, einmal in gelber Farbe, einmal in grünblauer oder grüner Farbe, einmal in purpurroter oder roter Farbe, daß bei einem anderen Verfahren die Kamera durch Linsen- oder Spiegelwirkung drei Filme gleichzeitig belichtet oder daß man schließlich einen Film verwendet, der drei farbempfindliche Schichten trägt. Auch das Prinzip, wie durch Mischung der drei einfarbigen Bilder ein buntes Bild entsteht, ist unterschiedlich. Im folgenden wird nur das farbenphotographische Umkehrverfahren und das Negativ-Positiv-Verfahren behandelt; beide Verfahren gehören zu den auf subtraktiver Grundlage arbeitenden Siebverfahren. Auch unter diesem Begriff vereinigen sich verschiedene Abarten; wenn zahlreiche Methoden für die Lösung der gleichen Aufgabe existieren, zeigt dies, wie vielfältig die Probleme und Möglichkeiten der Farbphotographie sind.

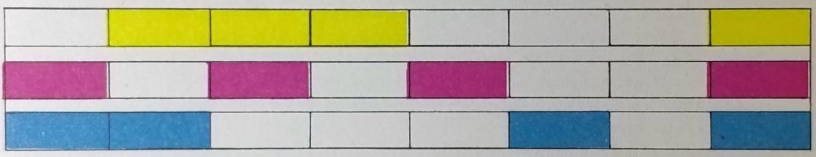
Farbenphotographisches Negativ-Positiv-Verfahren

a) Objektfarben



b) Bildschichten des fertigen Negativfilms

c) Fertiger Negativfilm in der Durchsicht: Farben komplementär zu den Objektfarben



d) Bildschichten des fertigen Positivfilms

e) Fertiger Positivfilm in der Durchsicht: Wiedergabefarben

Das behandelte *farbenphotographische Umkehrverfahren* erfordert einen farbempfindlichen Film, der aus wenigstens vier übereinandergegossenen Filmschichten besteht: einer blauempfindlichen Silberhalogenschicht, die einen gelben Farbbildner enthält, einer gelben Filterschicht, einer für grünes Licht empfindlichen Silberhalogenschicht, die einen purpurnen Farbbildner enthält, und einer rotempfindlichen Silberhalogenschicht, die einen blaugrünen Farbbildner enthält.

Fällt nun das aus verschiedenen Farben zusammengesetzte Licht des abzubildenden Gegenstandes auf die Schichten des Films, dann werden die entsprechend farbempfindlichen Silberhalogenschichten aktiviert, d. h. belichtet. Nach der Belichtung wird der Film entwickelt. Dabei entsteht in den entsprechenden Schichten zwar Silberkorn aus dem belichteten aktivierten Silberhalogen, aber gleichzeitig bilden sich an den belichteten Stellen aus den Oxydationsprodukten des verbrauchten Entwicklers mit den Farbbildnern auch Farbstoffe, und zwar die jeweiligen Komplementärfarben. Blaues Licht liefert demnach gelbe Farben, grünes Licht liefert purpurne Farben, rotes Licht liefert blaugrüne Farben. So entsteht der Farbnegativfilm. Kopiert man die negativen Farbwerte auf einen zweiten Farbfilm und entwickelt diesen wieder in der gleichen Weise, dann entsteht aus dem gelben

Licht des Negativfilms die endgültige blaue Farbe. Blauer Himmel erscheint also auf dem Farbnegativ gelb, auf dem danach belichteten Positiv aber purpurn und grünblau und damit wieder blau. So entsteht über das Farbnegativ durch die zweite Belichtung und Entwicklung das farbrichtige Bild als Film, Diapositiv oder Papierbild.

Beim Umkehrverfahren wird das belichtete Filmmaterial erst einmal normal schwarzweiß entwickelt. Blauer Himmel hatte auf der blauempfindlichen Schicht das Silberhalogen belichtet. Durch die Schwarzweißentwicklung entsteht an dieser Stelle Silber. Durch den Schwarzweißentwickler wird in der belichteten Blauschicht aber der gelbe Farbstoff nicht erzeugt. Nun wird der Film nachbelichtet. Dadurch werden die bisher noch nicht belichteten grün- und rotempfindlichen Silberhalogenschichten aktiviert. Die anschließende Farbentwicklung bringt dadurch eine purpurne und eine grünblaue Farbe in den nachbelichteten Schichten hervor. Die Mischung aus Purpur und Grünblau liefer aber den ursprünglich photographierten blauen Himmel.

Die Kompliziertheit der ganzen Arbeitsschritte schildert die folgende Rezeptur der Entwicklung eines Farbfilms nach dem *farbenphotographischen Negativ-Positiv-Verfahren* (Abb. S. 201):

Aufnahme machen, Negativfilm belichten (unter sorgfältiger Einhaltung der Belichtungszeit und Farbwerte), 12 Minuten entwickeln, 4 Minuten ins Stopbad geben, 4 Minuten härten, 4 Minuten wässern, 6 Minuten bleichen, 4 Minuten wässern, 8 Minuten fixieren, 8 Minuten wässern, 1 Minute mit Netzmittel behandeln,trocknen. Nun wird das Farbnegativ auf einen Colorpositivfilm übertragen. Das Positiv 12 Minuten entwickeln, 2 Minuten ins Stopbad geben, 2 Minuten fixieren, 2 Minuten wässern, 4 Minuten bleichen, 2 Minuten wässern, 2 Minuten bleichen, 8 Minuten wässern, 3 Minuten härten, 2 Minuten wässern, 3 Minuten puffern und schließlich trocknen. Die Konzentrationen der einzelnen Spezialbäder, die Badtemperaturen und die Behandlungszeiten müssen in streng einzuhaltenden Grenzen bleiben, wenn das farbige Bild dem entsprechen soll, was der Photograph aufgenommen hat. Die Farbphotographie ist daher auch von der technischen Seite her eine hohe Kunst.

Die bunten Schemabilder sollen den Belichtungs- und Farbbildungsvorgang näher erläutern und zeigen, wie durch Farbmischung das farbige Bild entsteht. Die Farbe sehen wir mit unserem Auge, das auf Grund seines biophysikalischen Aufbaus stets einen nur summarischen Farbeindruck vermittelt. Liegen winzig kleine blaue und gelbe Körnchen

Polaroid-Land-Colorfilm (zu Abb. S. 203)

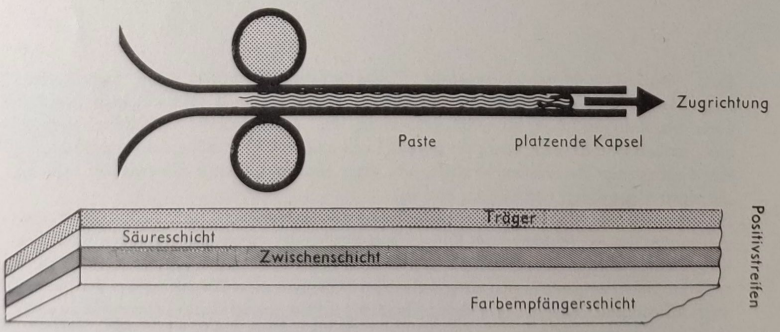


Abb. 2 Der dreischichtige Positivstreifen und der Negativstreifen werden aneinandergepreßt, die Entwickler-Aktivierpaste verklebt die beiden Filmstreifen

Abb. 1 Filmnegativ wird belichtet; farbiges Licht fällt auf das achtschichtige Negativ

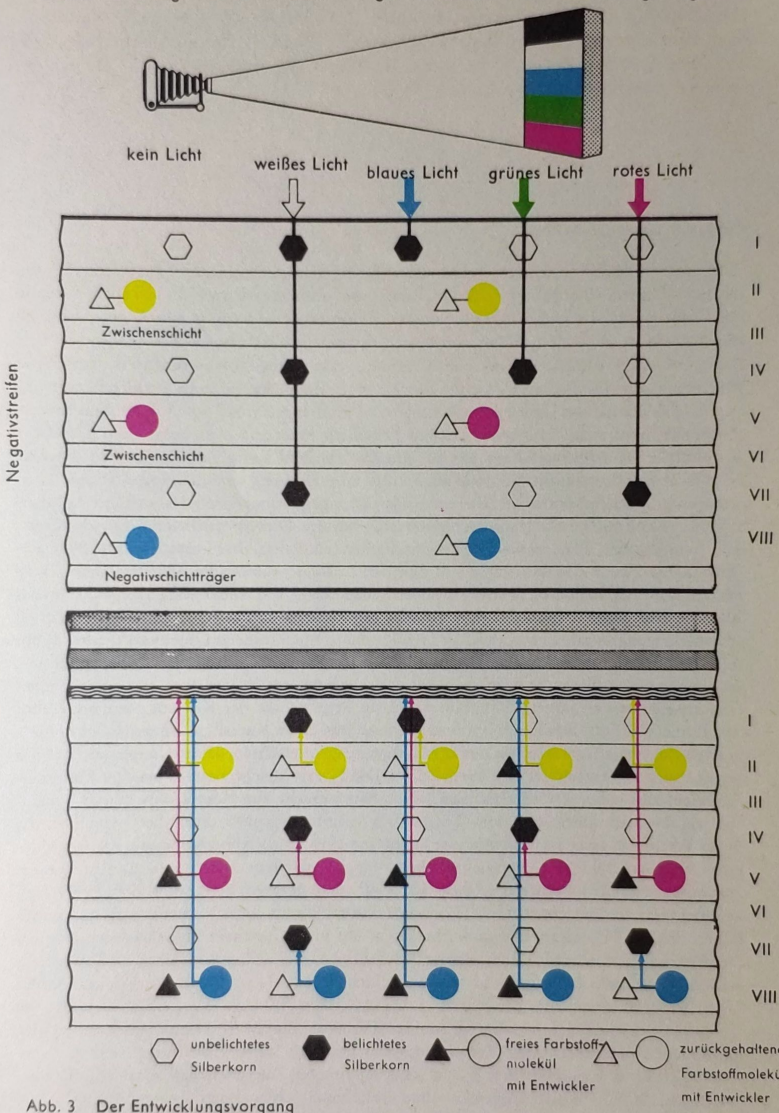


Abb. 3 Der Entwicklungsvorgang

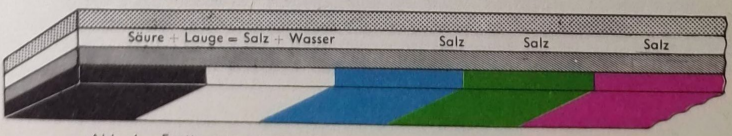


Abb. 4 Fertig entwickeltes Positiv

dicht nebeneinander, dann sehen wir nur eine grüne Fläche. Das ist eine additive Farbreizmischung. Die Farbphotographie nach den besprochenen Verfahren verwendet aber einfarbige Farbschichten übereinander, die teilweise durchscheinend sind. Diese Schichten verändern (filtern) das auffallende weiße Licht so, daß nur das von den Farbschichten nicht absorbierte Licht wieder in unser Auge eintreten kann. Hierdurch entsteht die subtraktive Farbmischung.

Polaroid-Land-Colorfilm

Von der beschriebenen, nun schon klassischen Farbphotographie unterscheidet sich das neue Diffusionsverfahren nach Dr. Land ganz grundsätzlich: Während normalerweise das Colornegativ entwickelt werden mußte, in ein Stopbad kam, gehärtet, gewässert, gebleicht, wieder gewässert, fixiert, gewässert, mit einem Netzmittel behandelt und schließlich getrocknet werden mußte, ehe überhaupt erst einmal das Farbnegativ fertig war, geschieht beim Landschen Colorfilmverfahren ein damit kaum mehr vergleichbarer und nur im physikalischen Grundprinzip annähernd ähnlicher Prozeß sozusagen ohne äußeres Zutun in hundertstel Millimeter dicken Schichten innerhalb von Sekunden. Ehe beim klassischen Colorfilmverfahren ein Farbpositiv als Bild fertig wurde, mußten zwanzig Verfahrensschritte auf die Sekunde genau und innerhalb eng einzuhaltender Temperaturgrenzen in Speziallaboratorien erledigt werden. Demgegenüber liefert das Farbfilmverfahren nach Dr. Land Farbphotographien binnen einer Minute. Dies geschieht auf folgende Weise: Ein sehr dünner, aus drei farblichtempfindlichen Schichten, drei Farbstoff- und Entwicklerschichten, zwei Zwischenschichten und dem Träger bestehender Negativstreifen wird photographisch belichtet. Dabei aktiviert blaues Licht die Silberhalogenkristalle in der blauempfindlichen Schicht I, grünes Licht läuft ungehindert auf die grünempfindlichen Silberhalogenkristalle der Schicht IV; strahlt das aufgenommene Objekt auch rotes Licht aus, so fällt dieses durch das Kameraobjektiv ungehindert durch die blauempfindliche und grünempfindliche Schicht auf die für Rotlicht sensibilisierten rotempfindlichen Silberhalogene der Schicht VII. Nun wird ein Streifen aus der Kamera gezogen. Dabei wird eine viskose Entwickleraktivierungspaste aus einer Kapsel gedrückt, indem Stahlwalzen die Negativschicht mit der inzwischen ausgequetschten Aktivierungspaste auf die sogenannte Positivschicht fest aufdrücken. Die Positivschicht besteht aus der Farbempfängerschicht, einer Zwischenschicht, einer Säureschicht zur Neutralisation und Stabilisierung des Farbbildes und dem Träger. Die Aktivierungspaste diffundiert schnell in die Negativschicht, erreicht nacheinander zuerst die aktivierten Silberhalogenkerne der blauempfindlichen Schicht I, entwickelt diese, macht aus dem Mischmolekül Entwicklersubstanz für Gelb / latenter Farbstoff für Gelb den gelben Farbstoff in Schicht II frei, erreicht über die Zwischenschicht III die aktivierten Silberhalogenkörner der grünempfindlichen Schicht IV, entwickelt diese, macht in der nun erreichten Schicht V den Purpurfarbstoff aus dem Entwickler-Latentfarbstoffmolekül frei, diffundiert über die Zwischenschicht VI in die rotempfindliche Halogenschicht VII und entwickelt die dort aktivierten Silberhalogenkörner, die von rotem Licht getroffen wurden. Schließlich erreicht sie die letzte Schicht VIII, wo der grünblaue Farbstoff durch Aktivierung des molekular gebundenen entsprechenden Entwicklers frei gemacht wird. Alle freigemachten Farbstoffmoleküle diffundieren nun frei in alle Richtungen. Sie erreichen zuerst die nächstliegenden, in Silberkorn umgewandelten belichteten ehemaligen Halogenkörner. Dort wird der Farbstoff festgehalten. Trifft das diffundierende Farbstoffmolekül der Schicht VIII kein Silberkorn, dann wandert es ungehemmt durch alle Schichten bis zur Positivschicht. Dort wird es aufgefangen und festgehalten. Wie entsteht nun das farbige Bild? Wo rotes Licht aufgetroffen ist, wird der grünblaue Farbstoff aus der Schicht VIII am

Silberkorn der rotempfindlich gewesenen Schicht VII festgehalten. Da das rote Licht die grünempfindliche und die blauempfindliche Schicht (IV und I) aber nicht belichten konnte, können die dort von der Aktivierungspaste angeregten und von den zugehörigen Entwicklern freigemachten Farbstoffe Purpur und Gelb frei bis zur farbfesthaltenden Positivschicht wandern. Gelb und Purpur gibt gemischt die rote Farbe auf dem Positiv. Blaues Licht hat nur die blauempfindliche Schicht I belichtet. Dort entstehender gelber Farbstoff wird von den Silberkörnern adsorbiert. Aber nun kann der aus Schicht V kommende purpurne und der aus Schicht VIII kommende eisblaue Farbstoff ungehindert bis zur Positivschicht vordringen; beide Farbstoffe werden dort festgehalten und gemischt, aus Purpur und Eisblau entsteht Blau. Entsprechendes geschieht dort, wo das Farbnegativ von grünem Licht belichtet wurde. Nur die zur grünempfindlichen Schicht gehörende purpurne Farbe wird von den Silberkristallen zurückgehalten, die eisblaue und die gelbe Farbe wandern ungehindert zur Positivschicht, beide Farbanteile werden festgehalten und gemischt, es entsteht Grün. Bei weißem Licht werden alle Farben zurückgehalten, denn alle drei farbempfindlichen Schichten werden belichtet und das Silberkorn hält in allen drei Schichten die Farbstoffe zurück. Beim schwarzen Bildanteil wird keine Farbe zurückgehalten und alle drei Farbstoffe treffen auf die Positivschicht; ihre Mischung ergibt Schwarz. Zum Schluß wird noch der Alkalianteil des Aktivators und Silberkornentwicklers III des Positivs neutralisiert; dabei entsteht Wasser, das wieder über die Positivschicht II und I auf die Negativschicht zuwandert und dabei den Mischfarbanteil des Positivs von Salzanteilen freiwäscht. Dadurch werden die Farbstoffe fest aneinander und auf die Farbträgerschicht gebunden. Das farbige Bild ist fertig, stabilisiert und sauber (Abb. S. 202 und 203).

AUTOMATISCHE BELICHTUNGSSTEUERUNG

Die automatische Belichtungssteuerung soll dem kameratechnisch weniger interessierten Photoamateur die Ermittlung der richtigen Belichtung und die Auswahl und Einstellung von Blende und Verschlußzeit abnehmen.

Die verschiedenen Systeme leiten sich alle von einem einfachen Prinzip ab: Die Grundlage ist ein in die Kamera eingebauter Belichtungsmesser, der die Helligkeit des Aufnahmegegenstandes feststellt. Die durch den Photostrom im Meßwerk erzeugte Kraft wird nur bei manchen 8-mm-Schmalfilmkameras direkt zur Verstellung der leichten Schwingblende verwendet; bei normalen Kameras ist zur Einstellung von Irisblende und Verschlußzeit eine Hilfskraft notwendig. Diese liefert entweder der Photograph beim Niederdrücken der Auslösetaste oder sie ist schon beim Aufziehen in einer Feder gespeichert worden.

Während nun der Amateur sein Motiv anvisiert, schlägt im Inneren der Kamera der Meßwerkzeiger entsprechend der Helligkeit mehr oder weniger weit aus. Beim Betätigen der Auslösetaste wird zuerst der Zeiger durch einen Bügel gegen seine Unterlage geklemmt: Durch diese Stellung ist der Belichtungswert festgehalten. Dann wird ein Nachführabtaster bewegt, bis er an dem geklemmten Zeiger anschlägt. Am anderen Ende des Abtasters befinden sich die Einrichtungen, die die Einstellung von Zeit und Blende vornehmen.

Die drei gebräuchlichsten Arten der automatischen Belichtungseinstellung sollen anhand der etwas vereinheitlichten Schemazeichnungen erklärt werden:

1. Blendensteuerung: Zur Anpassung an die Helligkeitsverhältnisse wird nur die Blendenöffnung verändert. Vor der Aufnahme ist das Objektiv auf volle Öffnung gestellt. Bei der Auslösung wird der Blendenring gedreht bis die treppenförmige Stoppsperre gegen eine Klinke am Nachführabtaster läuft. Je nach der abgetasteten Belichtungsmesserstellung geschieht das früher oder später und führt damit zu großer oder stark verkleinerter Blendenöffnung (der Abtaster kann auch direkt auf die Blende wirken).

Die Belichtungszeit ist bei allen Aufnahmen konstant. Wenn der Amateur den Film einlegt und den Ring auf die Filmempfindlichkeit einstellt, wählt er damit in Wirklichkeit die zum Film gehörende Verschlußzeit. Einem Film von 18 DIN entspricht z. B. 1/125 s, der halb so empfindliche Film von 15 DIN wird dafür mit 1/60 s belichtet. Die Belichtung wird also über den Blendenbereich von 2,8 bis 22 automatisch geregelt; ein hochempfindlicher Film erweitert die Anwendungsmöglichkeit nicht auf schlechtere Lichtverhältnisse, ermöglicht aber z. B. Aufnahmen bei schnellen Sportarten (24 DIN → 1/500 s).

2. Programmsteuerung von Blende und Verschlußzeit: Messung und Abtastung erfolgen wie oben beschrieben. Hier dreht sich nun ein Programmring, der über Steuerkurven und -stifte Verschlußzeit und Blende kontinuierlich verstellt, z. B.

2,8	2,8 → 4	→ 5,6	5,6 → 8	8 → 11	11 → 16	→ 22			
1/30 → 1/60	1/60	1/60 → 1/125	1/125 → 1/250	1/250 → 1/500	1/500	1/500			

Diese Zwischenwerte aus der an sich fast stufenlosen Verstellung zeigen, daß zuerst gegen die Verwacklung die Verschlußzeit verkürzt wird. Wenn dann durch Abblenden mehr Tiefenschärfe (s. S. 208) erreicht ist (etwa bei Blende 8), werden für Sportaufnahmen bevorzugt die Zeiten weiter verkürzt. Die Filmempfindlichkeit ist bei der Zeigerabtastung schon berücksichtigt, zu ihrer Einstellung wird das Meßwerk entsprechend verdreht.

3. Zeitvorwahl und Blendensteuerung: Sie erlaubt dem versierten Photographen, Zeit und Blende selbst zu bestimmen. Die Filmempfindlichkeit wird wieder durch Verdrehen des Meßwerks eingestellt. Der Zeitring ist mit dem DIN-Ring gekoppelt, so daß jede Änderung der Verschlußeinstellung eine weitere Verdrehung des Meßwerks bewirkt. Die Spitze des Meßwerkzeigers erscheint auf einer Blendenskala im Sucher. Rote Felder zeigen den nicht mehr automatisch steuerbaren Bereich an. Durch Veränderung der Zeit ist auch die Blende vorwählbar, sie paßt sich ständig den Lichtverhältnissen an.

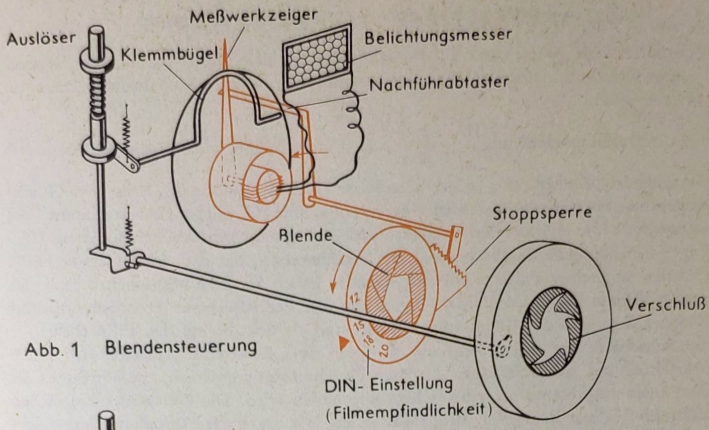


Abb. 1 Blendensteuerung

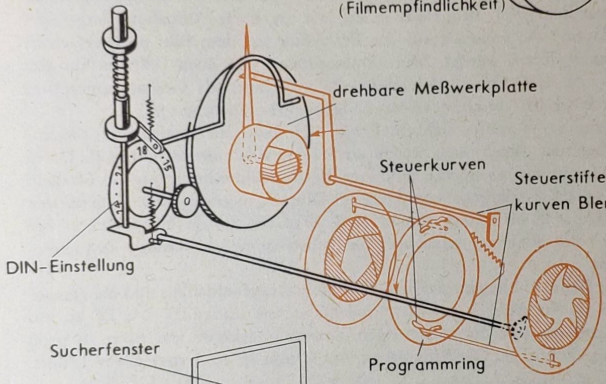


Abb. 2 Programmsteuerung von Blende und Verschluß

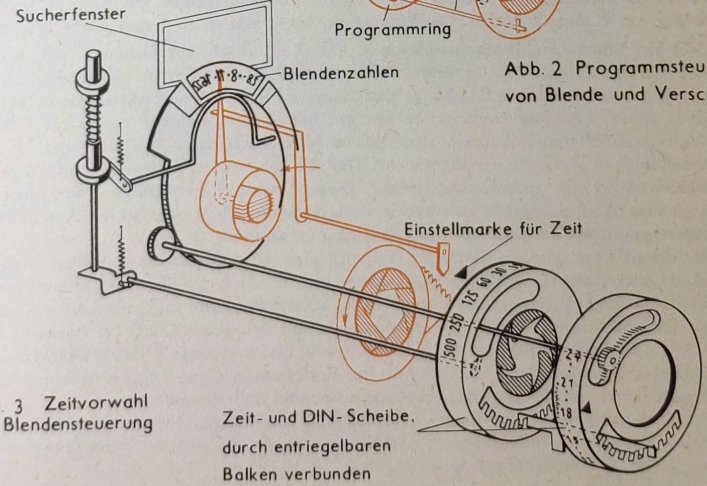


Abb. 3 Zeitvorwahl und Blendensteuerung

SCHÄRFENTIEFE (TIEFENSCHÄRFE)

Unter Schärfentiefe (Tiefenschärfe) versteht man in der Photographie den Bereich zwischen größter und kleinster Gegenstandsentfernung, der auf dem Film ohne störende Unschärfe erscheint.

Nach der Abbildungsgleichung $\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ (s. Linsen S. 166) wird in die Bildebene (B) nur *eine* Gegenstandsebene (G_e) scharf abgebildet (Abb. 1). Punkte (G_n), die vom Objektiv aus gesehen vor der vorgegebenen Gegenstandsebene (G_e) liegen, haben eine größere Bildweite (B_n): Die abbildenden Strahlen werden hinter der eingestellten Bildebene (B_e) vereinigt, die Bildebene durchschneidet den Strahlenkegel, der dadurch an dieser Stelle eine Scheibe statt eines Punktes entwirft. Ebenso haben Strahlen von einem hinter der Gegenstandsebene liegenden Punkt (G_w) schon vor der Bildebene ihren Schnittpunkt (B_w), hinter dem sich der Kegel wieder öffnet und als Scheibe auf den Film trifft.

Da die Sehschärfe des Auges begrenzt ist, kann das „Zerstreuungsscheibchen" (auch Unschärfekreis u.ä. genannt) einen gewissen Durchmesser annehmen, ehe ein Punkt als unscharf oder eine Kante als verwaschen empfunden wird. Die Größe des zulässigen Unschärfekreises auf dem Film hängt davon ab, wie stark die Aufnahme vergrößert wird, aber auch davon, wie feine Details der Betrachter auf dem Bild noch erkennen will. Für Amateuraufnahmen werden heute Durchmesser von etwa 1/20 mm für das Format 6 × 6 cm und 1/30 mm für Kleinbild (24 × 36 mm) als Grenze angesehen.

Die Größe des entstehenden Unschärfekreises hängt von drei Faktoren ab:

1. Von der Entfernung: Je weiter sich ein Punkt außerhalb der eingestellten Gegenstandsebene (G_e) befindet, desto mehr weicht auch seine Bildweite ab (Abb. 2). Dabei ändert sich die Bildweite um so stärker, je kürzer die Aufnahmeentfernung ist. Deshalb ist die genügend scharf wiedergegebene Tiefe im Dingraum jenseits der eingestellten Entfernung (z.B. $G_e = 20$ m) immer größer (z.B. 20 m bis ∞) als zum Objektiv hin (20 bis 10 m); bei Nahaufnahmen schrumpft die Schärfentiefe auf wenige Zentimeter oder gar Millimeter.

2. Von der Blende: Beim Abblenden werden die Strahlenkegel schlanker und die Scheibchen kleiner (Abb. 3). In Abb. 2 war die Wiedergabe von Punkt III und IV zu unscharf, nach Abblendung sind die zugehörigen Zerstreuungskreise nur noch so groß wie die von I′ und II′ vorher. Die Scheibchen von I′ und II′ sind analog verkleinert.

3. Von der Brennweite (Bildkonstruktion in Abb. 4 a und 4 b; vgl. Linsen S. 166): Wie schon erwähnt, ändert sich die Bildweite bei Abstandsänderungen im Nahbereich sehr stark. Ein Gegenstand in z.B. 5 Meter Entfernung ist für ein Weitwinkelobjektiv (vgl. S. 184) von 35 mm Brennweite schon fast im Unendlichen, während er für ein Teleobjektiv von 500 mm Brennweite praktisch im Nahbereich liegt; die Entfernung ist ja nur zehnmal so groß wie die Brennweite. Deshalb haben kurzbrennweitige und Weitwinkelobjektive eine größere Schärfentiefe. Dieser Vorzug wird verringert, wenn man, um gleiche Abbildungsgröße zu erhalten, stark nachvergrößern oder bei der Aufnahme entsprechend näher an den Aufnahmegegenstand gehen muß.

Nach diesen Überlegungen lassen sich Tabellen über die Schärfentiefe aufstellen. Meist sind an Objektiven Schärfentiefenringe angebracht (Abb. 5). Gegenüber der Entfernungseinstellung sind symmetrisch zur Einstellmarke die Blendenwerte angegeben. Ist z.B. bei einer Kleinbildkamera Blende 11 vorgesehen, so läßt sich ablesen, daß bei Einstellung auf 3,3 m die Schärfentiefe von 2,2 bis 6,8 m reicht. Hat man umgekehrt ein Objekt von bestimmter Tiefenstaffelung, so dreht man den Entfernungsring so lang, bis nächster und weitester Punkt vor gleichen Blendenzahlen stehen und stellt diese Blende ein.

Die Schärfentiefe ist vom Aufbau eines Objektivs unabhängig. Haben zwei Objektive gleicher Brennweite verschiedene Schärfentiefenangaben, so sind der Berechnung nur verschiedene Unschärfekreise zugrunde gelegt.

Abb. 1 Entstehung der Unschärfekreise

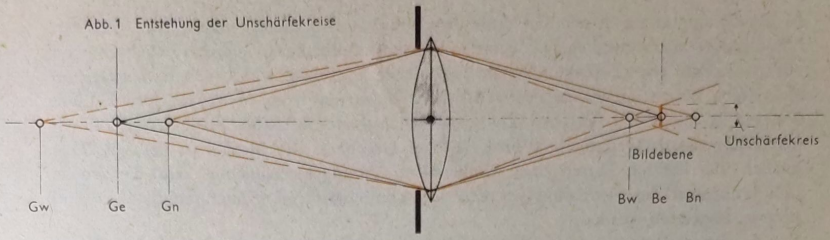


Abb. 2 Schärfentiefe bei voller Öffnung

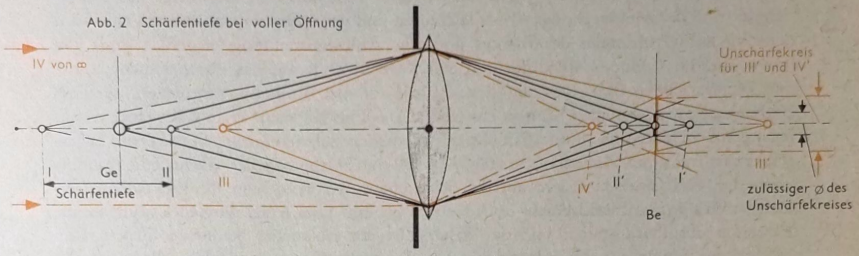
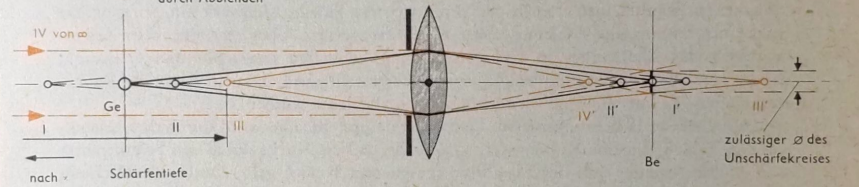


Abb. 3 Erweiterung der Schärfentiefe durch Abblenden



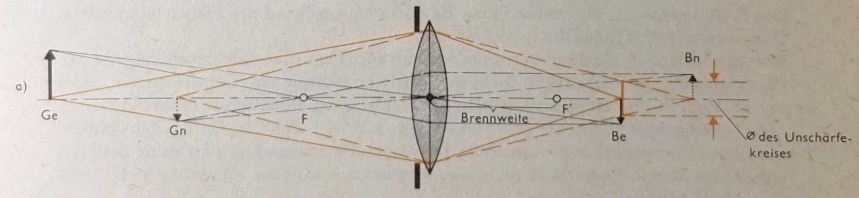


Abb. 4 Schärfentiefe bei langer (a) und bei kurzer Brennweite (b)

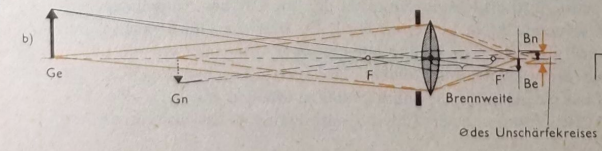


Abb. 5 Tiefenschärfenring

BELICHTUNGSMESSER

In der Photographie dienen Belichtungsmesser dazu, bei einer vorgewählten Blendenöffnung der Kamera und einer bekannten Filmempfindlichkeit die exakte Belichtungszeit zur Aufnahme eines Objektes zu messen. Neben optischen werden heute vorwiegend elektrische Belichtungsmesser verwendet. Sie setzen das vom Motiv reflektierte Licht über ein Photoelement (vgl. S. 132) in einen schwachen elektrischen Strom um, der durch den Zeigerausschlag gemessen wird. Je nach Helligkeit des Motivs ist der Ausschlag größer oder kleiner. Durch einen kleinen Umrechnungsmechanismus kann die genaue Belichtungszeit des Aufnahmegegenstandes, kombiniert mit Filmempfindlichkeit und Blende, abgelesen werden.

Die beiden wichtigsten Teile eines elektrischen Belichtungsmessers sind das Photoelement und das Meßwerk, denen zur leichteren und genaueren Funktion noch eine Vorrichtung zum Auffangen des Lichtes und eine Ableseeinrichtung beigefügt sind. Das Licht fällt durch eine Wabenlinse und eine Wabenblende auf das Photoelement; Linse und Blende dienen dazu, das einfallende Licht auf den Winkel zu begrenzen, der dem Bildwinkel einer normalen Kamera entspricht. Das Photoelement besteht aus einer Eisenplatte, auf welche eine dünne Schicht des Elementes Salen aufgetragen ist. Diese Selenschicht ist mit einer Platinschicht von 1/100000 mm Stärke bedeckt, die noch lichtdurchlässig ist. Fällt nun das Licht auf die Selenschicht, so werden in ihr Elektronen frei. Diese treten in die Platinschicht und dadurch beginnt über einen dünnen Leitungsdraht zwischen der Platinschicht und der Eisenplatte ein schwacher Strom zu fließen. Der Einfall des Lichts auf die Selenschicht hat also einen Strom zur Folge. Dieser ist der Menge des Lichtes proportional, d.h., bei großer Helligkeit fließt ein starker Strom und umgekehrt. Schaltet man nun in den Stromweg ein kleines Meßwerk ein, so kann die Stärke des Stroms am Zeigerausschlag abgelesen werden. Über eine mit dem Zeigerausschlag des Meßwerkes in Übereinstimmung gebrachte Umrechnungsvorrichtung, an der nur die Filmempfindlichkeit vorher eingestellt wird, können dann die Belichtungszeiten für verschiedene Blendenöffnungen abgelesen werden.

In Abb. 2 ist ein Belichtungsmesser im Schnitt dargestellt. Hier wird durch das Einstellrad eine Walze, die eine Kurve trägt, so gedreht, daß die Kurve durch den Schnittpunkt von Meßwerkzeiger und der Standlinie (gespannter Faden) geht. Durch die Drehung wird über die beiden Kegelräder das flexible Band mit den Belichtungszeiten und Belichtungswerten (Lichtwerten) gegenüber der feststehenden Blendenzahlreihe bewegt. Die Kurvenwalze ist gegenüber ihrem Kegelrad entsprechend der Filmempfindlichkeit (Einstellung durch Einstellrad) verstellbar.

Statt der Selenphotoelemente werden neuerdings auch Photowiderstände benutzt (Abb. 3). Diese wandeln das Licht nicht direkt in elektrische Energie um, sondern ändern unter seinem Einfluß ihre elektrische Leitfähigkeit, d.h. ihren elektrischen Innenwiderstand. Man benötigt also zusätzlich eine Stromquelle, z.B. eine Batterie. Da die Leitfähigkeit des Photowiderstandes mit wachsender Lichtintensität zunimmt, wächst dabei auch der elektrische Strom. Diese Belichtungsmesser können noch sehr schwaches Licht (z.B. Mondlicht) messen.

Für die Anwendung der Belichtungsmesser gibt es zwei Methoden: 1. die (häufigere) Objektmessung, wobei zum Objekt hin gemessen wird. Dabei erfaßt der Belichtungsmesser innerhalb eines begrenzten Raumwinkels das Licht, das vom Aufnahmegegenstand zurückgestrahlt wird; 2. die Lichtmessung, bei der am Ort des Aufnahmegegenstandes das diesen beleuchtende Licht gemessen wird. Da nun das Objekt auch durch das Licht beleuchtet wird, das seine Umgebung auf ihn wirft, setzt man vor die Linsen bzw. Wabenlinsen eine Streuscheibe oder einen gewölbten bzw. halbkugelförmigen Diffusor, um das Licht aus einem größeren Raumwinkel zu erfassen (Abb. 4). - Zur Verwendung eingebauter Belichtungsmesser für die automatische Belichtungsregelung vgl. S. 206.

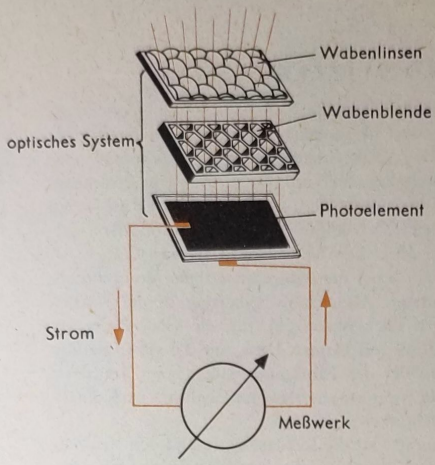


Abb. 1 Aufbau eines elektrischen Belichtungsmessers (schematisch)

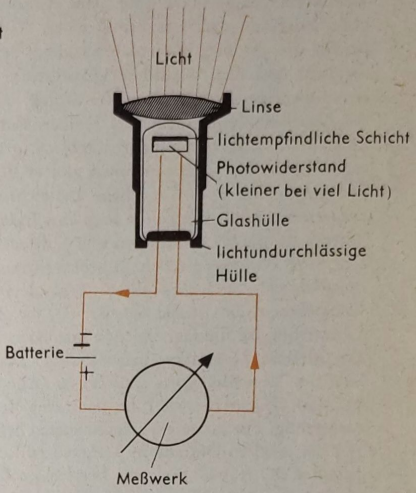


Abb. 3 Photowiderstand (schematisch)

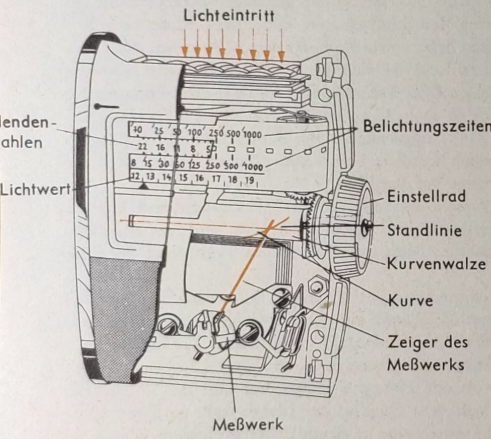


Abb. 2 Elektrischer Belichtungsmesser (Objektmessung)

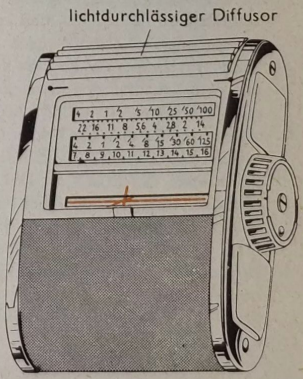


Abb. 4 Elektrischer Belichtungsmesser (Lichtmessung)

BLITZLAMPEN UND BLITZLEUCHTEN

Blitzlampen sollen in dem Sekundenbruchteil, in dem der Kameraverschluß geöffnet ist, einen möglichst großen Lichtstrom (gemessen in Lumen), insgesamt also eine große Lichtmenge (Lumensekunden) abgeben. Das Licht entsteht durch Verbrennung eines Aluminium-Magnesium- oder eines Zirkondrahtknäuels mit Sauerstoff: Ein Stromstoß über den Kamerakontakt bringt einen Wolframdraht zum Glühen, wodurch an seinen Enden die in ihrer Zusammensetzung Streichholzköpfen ähnlichen Zündpillen aufflammen und den Metalldrahtknäuel entzünden. Die Sauerstoffüllung im Kolben hat etwas weniger als 1 Atmosphäre Druck, damit bei der explosionsartigen Verbrennung die Druckerhöhung nicht den Kolben sprengt. Als weitere Sicherung ist der Kolben innen und außen mit einem durchsichtigen Lack überzogen, der die Glassplitter zusammenhält. Für Farbaufnahmen gibt es Blitze mit blauem Lack, der die spektrale Zusammensetzung dem Tageslicht angleicht. Bei der Fabrikation oder beim Transport aufgetretene Undichtigkeiten zeigt eine Indikatorperle aus blauem Kobaltsalz im Kolbeninneren an, die bei Eindringen von Luftfeuchtigkeit rosa wird.

Die *Licht-Zeit-Kurven* (Abb. 2) geben Auskunft über die Lichtausbeute und den Verwendungszweck der Kolbenblitze: Besonders wichtig für die Synchronisation mit dem Kameraverschluß ist die Scheitelzeit, die Zeit zwischen Kontaktschluß und höchstem Lichtstrom. Sie beträgt bei den normalen Blitzlampen vom Typ M 18 Millisekunden. Die meisten Zentralverschlüsse haben „X-Synchronisation"; der Kontakt erfolgt, sobald der Verschluß ganz geöffnet ist (Abb. 3a). Damit der ganze Abbrennvorgang bei offenem Objektiv erfolgt, ist dann eine Verschlußzeit von mindestens 30 ms $\approx$ 1/30 s notwendig. Für kürzere Verschlußzeiten haben viele Kameras den M-Kontakt, der 16 ms vor der größten Öffnung in Tätigkeit tritt, so daß sich der Verschluß erst kurz vor dem Scheitel öffnet und nur den Bereich größten Lichtstroms aus dem Abbrennvorgang verwendet (Abb. 3b). Zum Vergleich ist in beiden Diagrammen noch die Licht-Zeit-Kurve eines Elektronenblitzes (s. S. 214) eingezeichnet: Bei X-Synchronisation können Zentralverschlüsse bis zu 1/500 s benützt werden, bei versehentlicher Einstellung auf M kommt nicht die geringste Lichtmenge auf den Film.

Da bei Schlitzverschlußkameras der Verschlußablauf 1/20 bis 1/60 s dauert und kürzere Zeiten nur durch schmälere Schlitzbreite erreicht werden (s. S. 190), sind hier Blitzlampen mit sehr breiter Abbrennkurve nötig, damit die streifenweise Belichtung über die ganze Bildbreite gleich ist.

Ist die Verschlußzeit länger als die Abbrennzeit, so hängt die Belichtung nur von der eingestellten Blende ab. Man errechnet die Blende aus der für die eingelegte Filmsorte angegebenen „Leitzahl" nach der Formel Blendenzahl = Leitzahl : Entfernung (m). Zum Verständnis des Begriffs der Leitzahl muß man wissen, daß die Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle abnimmt und die Lichtstärke eines Objektivs (s. S. 192) ebenfalls mit dem Quadrat der Blendenzahl geringer wird; also verbindet man die beiden Größen durch eine „Leitzahl", deren Quadrat der Lichtmenge proportional ist. Z. B. ist die Beleuchtungsstärke in 5 m Entfernung nur noch ein Viertel der in 2,5 m. Die Lichtstärke ist bei Blende 4 viermal so groß wie bei Blende 8; d. h., Blende 4 bei 5 m gibt die gleiche Belichtung wie Blende 8 bei 2,5 m; beide Einstellungen sind möglich bei einem Blitz der Leitzahl 20, ebenso sind Bl. 2,8 für 7 m oder Bl. 5,6 für 3,5 m denkbar. – Für die Zündung schloß man früher die Batterie direkt über die Blitzlampe kurz (Abb. 4a). Heute verwendet man kleine Trockenbatterien von meist 22,5 Volt, die beim Einsetzen des Blitzlämpchens über den Zünddraht einen Kondensator aufladen (Abb. 4b); durch einen hohen Widerstand im Ladekreis bleibt dieser Strom so gering, daß er nicht zur Zündung führt. Beim Auslösen verbindet der Kamerakontakt den Kondensator direkt mit der Blitzlampe und der Entladungsstoß führt zur Zündung.

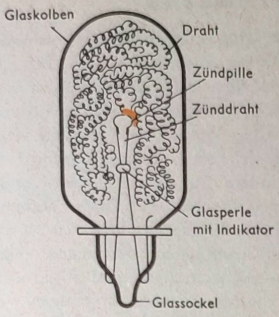


Abb. 1 Kolbenblitz

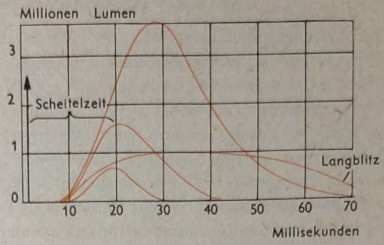


Abb. 2 Licht-Zeit-Kurven von Blitzlampen

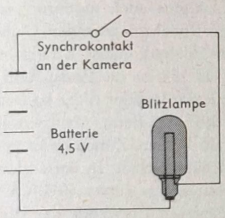


Abb. 4a Schaltschema zum Zünden von Kolbenblitzen direkt von der Batterie

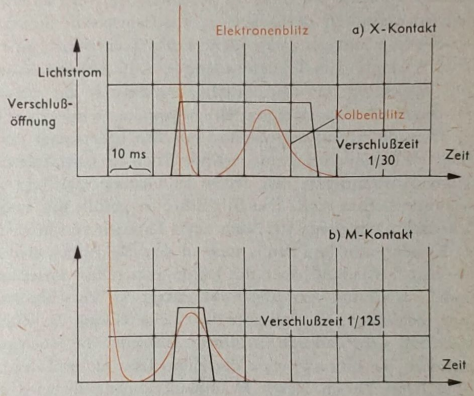


Abb. 3 Blitzsynchronisation mit Zentralverschluß

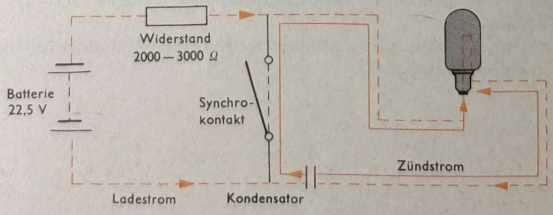


Abb. 4b Schaltschema zum Zünden von Kolbenblitzen über einen Kondensator

ELEKTRONENBLITZGERÄT

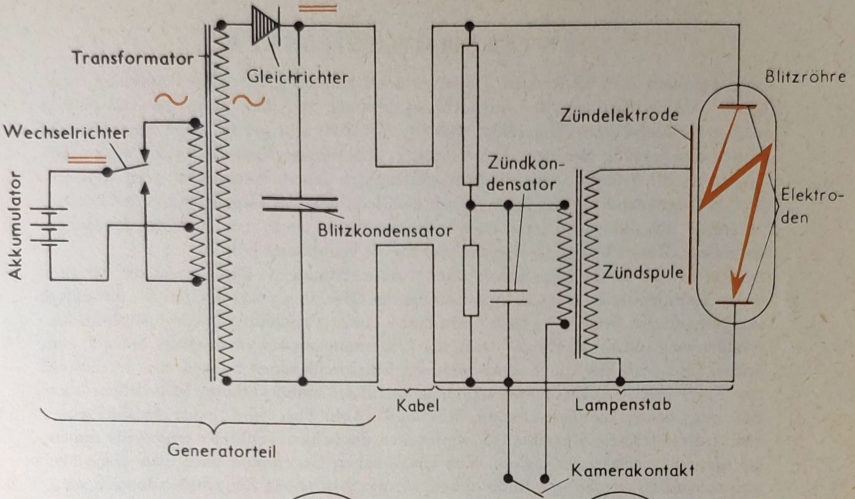
Die Photographie verwendet im „Elektronenblitz" eine kurzleuchtende Lichtquelle hoher Intensität, die tatsächlich mit dem Gewitterblitz viel gemeinsam hat. Beim Gewitter entsteht der Blitz, wenn sich z. B. eine Wolke gegenüber der Erde elektrisch auflädt; Wolke und Erde sind dabei die Platten eines riesigen Kondensators. Wird die Spannung zu hoch, so kommt es zum Durchschlag: Das Gas der Atmosphäre wird leitend und durch einen kurzen gewaltigen Stromstoß gleicht sich der Ladungsunterschied aus. Für die Photographie ahmt man diesen Effekt nach, indem man ebenfalls einen Kondensator über eine Gasatmosphäre entlädt. Das Elektronenblitzgerät muß also so aufgebaut sein, daß es die nötige hohe Spannung erzeugen und den Blitz im gewünschten Moment auslösen kann (Abb. 1). Ältere Geräte arbeiteten mit Spannungen von einigen tausend Volt, heute haben die meisten 500 Volt. Die üblichen tragbaren Stromquellen (Trockenbatterien, Akkumulatoren; s. S. 96) liefern aber Gleichstrom von nur einigen Volt. Da nur Wechselstrom von einer Spannung in eine andere transformiert werden kann, muß der Gleichstrom zuerst in Wechselstrom verwandelt werden: Als „Wechselrichter" dient entweder ein Zerhacker, der mechanisch die Stromrichtung etwa zweihundertmal pro Sekunde umpolt, oder heute fast ausschließlich eine Transistorschaltung mit ähnlicher Wirkung. Ein Transformator (s. S. 122) bringt diesen Wechselstrom auf die nötige hohe Spannung, ein Gleichrichter verwandelt ihn wieder in Gleichstrom.

Mit dieser gleichgerichteten Hochspannung wird ein Kondensator geladen. Die beiden Pole des Kondensators sind mit den Elektroden der Blitzröhre verbunden. Blitzröhre und Zündeinrichtung befinden sich im Lampenstab; es gibt auch moderne, sehr kleine Amateurgeräte, bei denen der Generatorteil und der Reflektor zu einer Einheit zusammengebaut sind. Die Blitzröhre ist gefüllt mit einem Edelgas, meist Xenon, das elektrisch nichtleitend ist. Nach einer Ladezeit von etwa 3 bis 15 s ist die Endspannung am Kondensator und damit auch an den Elektroden erreicht. Sie ist aber nicht so hoch, daß eine Entladung über die Röhre von selbst einsetzen könnte. Beim Auslösen der Kamera wird nun vom Synchronkontakt des Verschlusses ein kleiner Zündkondensator kurzgeschlossen, der sich über die eine Wicklung der Zündspule entlädt. In der anderen Wicklung wird dadurch in diesem Moment eine Hochspannung von etwa 10000 Volt induziert, die nun zwischen der Zündelektrode und der negativen Elektrode der Blitzröhre liegt. Durch diesen Hochspannungsimpuls wird das Edelgas ionisiert, es wird leitend, so daß sich der Kondensator über die Röhre entladen kann: Innerhalb von 1/1000 s fließt die gespeicherte Energie als Strom von 100 und mehr Ampere durch die Blitzröhre und bringt das Gas für diese kurze Zeit zum Leuchten.

Das Licht des Elektronenblitzes hat etwa die spektrale Zusammensetzung des Tageslichts, bei Farbaufnahmen mit dem Elektronenblitz verwendet man also den üblichen Color-Tageslichtfilm.

Über die Synchronisation mit dem Kameraverschluß und über die Berechnung der Blende aus der „Leitzahl" vgl. S. 212.

Abb. 1 Elektronenblitzgerät schematisch



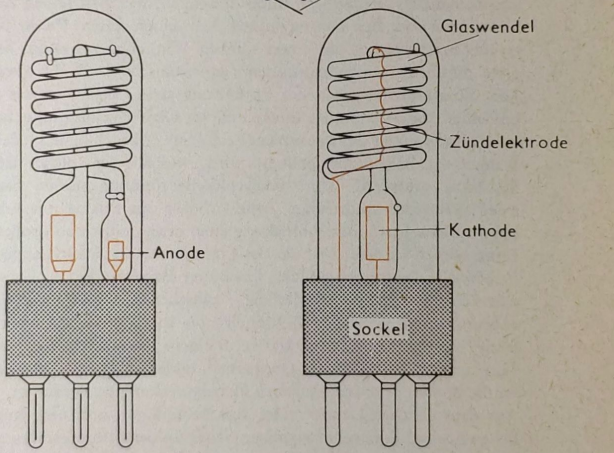


Abb. 2 Blitzröhre für hohe Spannung

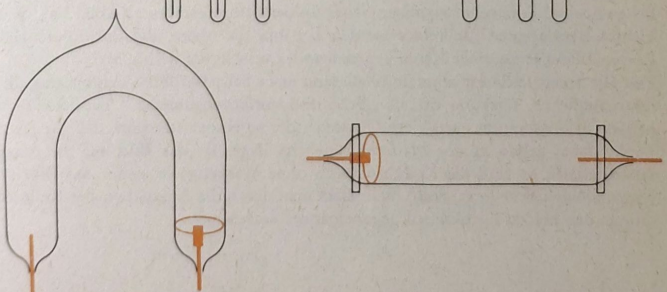


Abb. 3 Blitzröhren moderner Amateurgeräte (im Verhältnis zu Abb. 2 stark vergrößert)

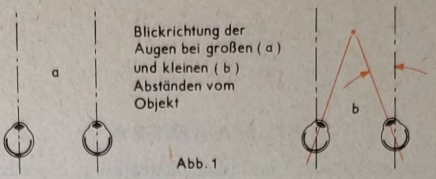
ENTFERNUNGSMESSER

Photographiert man bei kleinen Aufnahmeabständen mit großer Blendenöffnung, dann ist die Tiefenschärfe (größter und kleinster Abstand, zwischen denen die Gegenstände noch ausreichend scharf abgebildet werden; s. S. 208) sehr gering. Eine Schätzung der Entfernung wäre zu ungenau, deshalb sind in hochwertige Kameras Entfernungsmesser eingebaut. Ihr Prinzip entspricht dem zweiäugigen Sehen: Nach einem sehr weit entfernten Gegenstand blicken beide Augen parallel; rückt der Gegenstand nahe heran, so verdrehen sich die Augen etwas nach innen, und zwar um so mehr, je näher der Gegenstand liegt. Dieser Winkel ist also ein Maß für die Entfernung (Abb. 1).

Analog hat ein Entfernungsmesser zwei Ausblicköffnungen: Die eine ist die des normalen Suchers, dessen optische Achse zu der des Objektivs genau parallel ist, die andere sitzt am anderen Ende der „Basis" und liefert einen Ausschnitt als Vergleichsbild. Der Strahlengang dieses Meßbildes läuft im Entfernungsmesser über einen Spiegel zum Sucher und wird hier durch einen weiteren halbdurchlässigen Spiegel dem Sucherbild überlagert (Abb. 2 a). Der Photograph sieht also in der Einblicköffnung beide Bilder übereinander, daher die Bezeichnung Mischbild (Abb. 2b). Sind beide Strahlengänge außerhalb der Kamera parallel, so werden sich die beiden Teilbilder eines sehr fernen, anvisierten Gegenstandes decken. Von einem nahen Gegenstand wird man aber zwei gegeneinander verschobene Bilder sehen, so, wie man seinen Zeigefinger doppelt sieht, wenn man über den ausgestreckten Arm einen fernen Punkt fixiert. Es muß also der zweite Strahlengang um einen solchen Winkel verschwenkt werden, daß er wie der erste durch den aufzunehmenden Gegenstand verläuft. Da dieser Winkel in eindeutigem Zusammenhang mit der Entfernung steht, wird man das ablenkende Bauelement mit einer Meterskala oder direkt mit der Objektiveinstellung koppeln. Die Ablenkung kann durch einen Schwenkspiegel erfolgen (Abb. 2 a), der jedoch nur um den halben Winkel der Ablenkung gedreht wird, weshalb ein solcher Entfernungsmesser große Präzision erfordert. Beim Schwenkkeilentfernungsmesser dagegen (Abb. 3) bilden zwei ineinander verdrehbare Zylinderlinsen ein Prisma mit veränderlicher Brechkraft, bei dem eine bestimmte Ablenkung einer etwa doppelt so großen Verdrehung der einen Linse bedarf. In Abb. 3 ist die Basis mit den beiden feststehenden Spiegeln der Stabilität halber als Glasstab ausgeführt; in anderer Bauweise ist das Linsenpaar – oder auch nur eine verschwenkbare Zylinderlinse – zwischen den Spiegeln angeordnet. Beim Drehkeilentfernungsmesser (Abb. 4) können zwei runde Keile bei einer differentialartig gegenläufigen Verdrehung bis je 180° von einem Doppelkeil über eine Planplatte einen entgegengesetzt ablenkenden Doppelkeil bilden. Wegen seiner komplizierten Mechanik wurde er aber von den einfachen Hebelanordnungen verdrängt.

Aus dem gleichen Grund findet man heute kaum noch den wegen seines klaren, deutlichen Sucherbildes sehr bequemen Schnittbildentfernungsmesser (Abb. 5 a). Statt eines kleinen überlagerten Meßfeldes werden bei ihm die obere und die untere Hälfte des ganzen Bildes längs einer Kante gegeneinander verschoben (Abb. 5 b).

Fast alle Spiegelreflexkameras sind heute mit einer Scharfstellhilfe ausgestattet, die wegen ihrer ähnlichen Wirkung oft als „Schnittbildentfernungsmesser" bezeichnet wird. Es handelt sich dabei um zwei klare Glaskeile, die so eingekittet sind, daß ihr Kreuzungspunkt dabei genau in der Mattscheibenebene liegt. Ist das Bild auf die Mattscheibe scharfgestellt, so sind die Keile praktisch ohne Wirkung; je weiter das Bild vor oder hinter dieser Ebene liegt, desto mehr sieht man durch die Ablenkung der Keile die Bildteile in den beiden Halbkreisen gegeneinander verschoben.



Blickrichtung der Augen bei großen (a) und kleinen (b) Abständen vom Objekt

Abb. 1

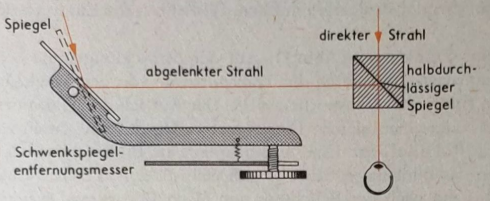


Abb. 2 a Schwenkspiegel-entfernungsmesser

Abb. 2 b Mischbild

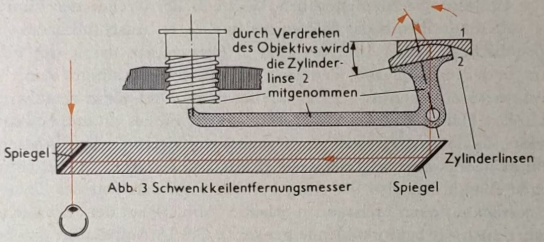


Abb. 3 Schwenkkeilentfernungsmesser

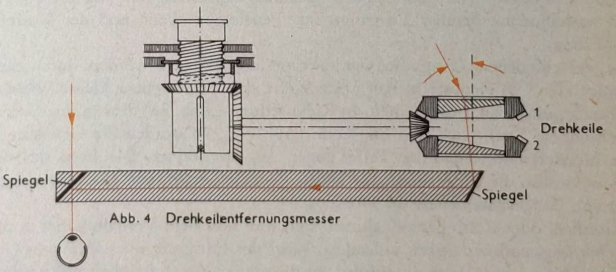


Abb. 4 Drehkeilentfernungsmesser

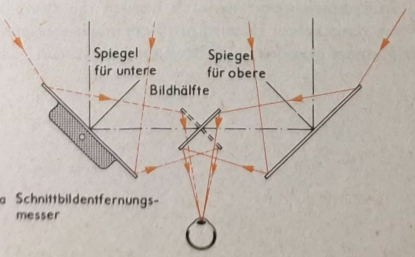


Abb. 5a Schnittbildentfernungs-messer

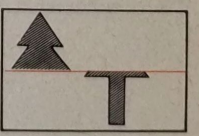


Abb. 5b Schnittbild

FILMKAMERA

Prinzipiell besteht zwischen einem normalen Photoapparat und einer Filmkamera kein Unterschied, nur werden mit der Filmkamera viele Aufnahmen schnell hintereinander gemacht, so daß bei entsprechender Projektion auf dem Bildschirm der Eindruck der Bewegung entsteht.

Lauf des Filmes durch eine Filmkamera (Abb. 1): Auf der Abwicklungsspule befindet sich das unbelichtete Filmmaterial, das durch die Transportrolle von der Abwicklungsspule abgezogen und zum Bildfenster transportiert wird. Der Antrieb der Transportrolle erfolgt durch einen Feder- oder einen kleinen Elektromotor. Die Anpreßplatten sorgen dafür, daß der Film auf der Rolle aufliegt. Eine Andruckplatte am Bildfenster drückt den Film vollkommen plan an das Bildfenster, damit er sich beim Belichten nicht verkantet. Der Transportgreifer führt ihn nach der Belichtung um einen Bildabstand weiter. Da dieser Transport ruckweise geschieht, während die Transportrolle kontinuierlich arbeitet, muß der Film Entlastungsschlaufen haben. Während der Greifer den Film weiterzieht, verdeckt die rotierende Blende das Bildfenster, um es im Anschluß daran für einen bestimmten Zeitabschnitt (etwa 1/32 bis 1/50 s) freizugeben, damit der Film belichtet wird. Greifer und Blende müssen demnach aufeinander abgestimmt sein.

Die Funktion des Greifers (Abb. 2): Der Greifer ist im Drehpunkt verankert, sein Hebel ist beweglich. Der Haken greift in die Perforation des Filmes ein und bewegt diesen ein Stück vorwärts, da das andere Ende des Greifers eine exzentrische Bewegung ausführt. Bei Schmalfilmkameras wird der Film so lange angehalten, wie er zur Belichtung braucht. Die rotierende Blende hat also die Aufgabe, den Film während des Transports abzudecken. Sie besteht aus einer kreisrunden Scheibe (Abb. 3), aus der Sektoren ausgeschnitten sind (daher auch oft Sektorenblende genannt). Bei 16 Aufnahmen pro Sekunde entspricht ein Sektor von 180° einer Aufnahmegeschwindigkeit von 1/32 s. Abb. 4 zeigt die zusammenhängenden Vorgänge des Fensterabdeckens und des Weitertransportes des Filmes.

Die verschiedenen Ganggeschwindigkeiten der Kamera werden durch einen kleinen Regler (Abb. 5) eingestellt. Auf einer Welle sind verschiebbar kleine Fliehgewichte angebracht, die einen Teller halten. In Ruhestellung (Abb. 5a) drückt eine Feder den Teller nach außen. Dreht sich nun die Welle (Abb. 5b), so werden die Gewichte nach außen geschleudert und ziehen den Teller gegen den Bremsklotz. Die Lage des Bremsklotzes bestimmt also die Umdrehung der Welle. Je weiter nach links der Bremsklotz zu liegen kommt, desto schneller ist die Drehung.

Zeitraffer- oder Zeitlupenaufnahmen sind nur von dem Verhältnis der Aufnahme- zur Projektionsgeschwindigkeit abhängig. Wird der Film mit einer kleineren Geschwindigkeit aufgenommen als er vorgeführt wird, so wird pro Zeiteinheit mehr Film durch den Projektor gezogen als durch die Aufnahmekamera; dadurch werden die Bewegungsabläufe gerafft. Bei der Zeitlupe ist es umgekehrt: Es wird pro Zeiteinheit weniger Film durch den Projektor als durch die Kamera gezogen; alle Bewegungen werden gedehnt.

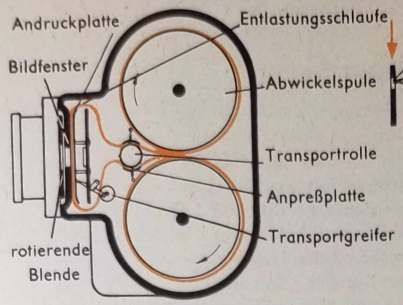


Abb. 1 Schema einer Filmkamera

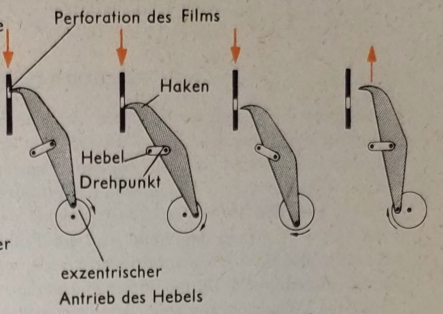


Abb. 2 Funktion des Transportgreifers

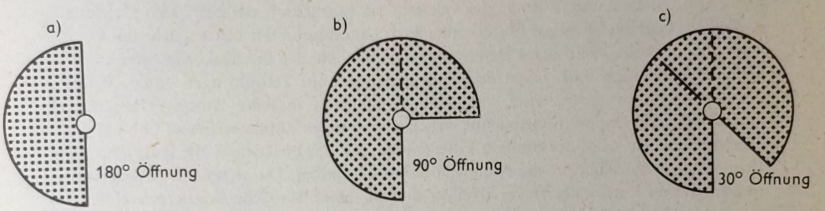


Abb. 3 Rotierende Blende

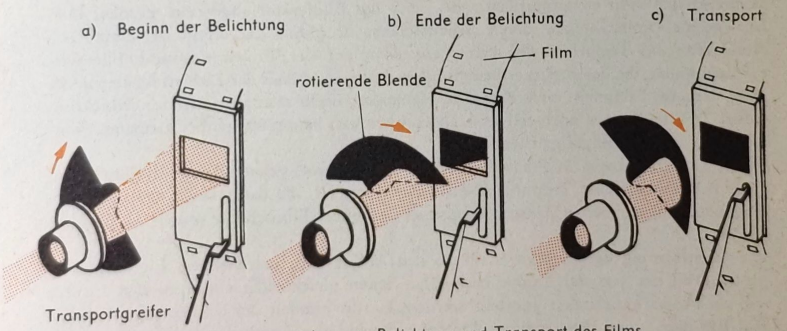


Abb. 4 Zusammenwirken von Belichtung und Transport des Films
a) Ruhestellung b) in Betrieb

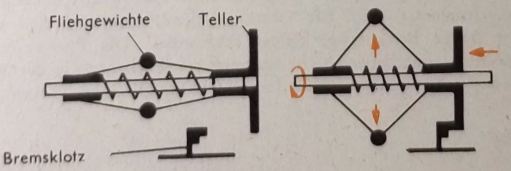


Abb. 5 Regler der Ganggeschwindigkeit

FILMPROJEKTOR

Der Filmprojektor arbeitet nach den gleichen Prinzipien wie die Filmkamera (s. S. 218). Während jedoch bei der Kamera die Lichtstrahlen vom Motiv durch das Kameraobjektiv auf den Film treffen und ihn belichten, gehen bei der Projektion die Strahlen einer Lichtquelle durch das Filmbild und das Projektorobjektiv zur Leinwand.

In Abb. 1 ist der Aufbau eines Filmprojektors schematisch dargestellt. Die Filmwiedergabe vollzieht sich in der Weise, daß ein Teilbild des Filmes eine kurze Zeit projiziert und dann der Film weitertransportiert wird; während der Transportzeit wird das Bildfenster abgedunkelt. Damit immer ein genügend großer Filmvorrat zur Stelle ist und damit ein Ausgleich zwischen der gleichmäßig umlaufenden Vorwickelrolle und dem ruckweise arbeitenden Transportmechanismus gegeben ist, muß zwischen Vorwickelrolle und Bildfenster eine Filmschleife vorhanden sein.

Der Mechanismus, der den Filmtransport bewerkstelligt, kann als Greifer ausgebildet sein (Abb. 2). Das untere Ende des Greifers ist exzentrisch auf einer sich gleichmäßig drehenden Scheibe befestigt. Durch seine feste Lagerung in der Mitte macht der Greiferkopf die in Abb. 2 skizzierte Bewegung: Die Klauen des Greiferkopfes greifen in die Filmperforation ein und ziehen den Film genau um ein Teilbild nach unten. Während das Einzelbild projiziert wird, kehrt der Greiferkopf in seine Ausgangslage zurück.

Ein anderer Transportmechanismus arbeitet mit einem Malteserkreuz (Abb. 3). Das Kreuz sitzt dicht über der unteren Filmschleife; auf der gleichen Welle läuft eine Zahntrommel, deren Zähne in die Filmperforation eingreifen. Das Kreuz wird angetrieben durch eine dauernd umlaufende Scheibe, die auf ihrer Planfläche exzentrisch einen Stift trägt. In Abb. 3a wird das Kreuz im Stillstand gezeigt. Dann greift der Stift in den Schlitz des Kreuzes ein und dreht es zusammen mit der Zahntrommel ruckartig weiter (Abb. 3b).

Während der Film weitergezogen wird, muß das Bildfenster abgedeckt werden. Dies besorgt die Umlaufblende, deren Arbeitsschema in Abb. 4 dargestellt ist. Durch das Abdecken und Freigeben des Films entstehen auf der Projektionswand Flimmererscheinungen, die desto stärker bemerkbar werden, je seltener der Lichtstrahl abgedeckt wird. Um das Flimmern weitgehend zu vermeiden, deckt man auch den zur Projektion freien Teil des Filmes noch teilweise ab und benützt, hauptsächlich bei kleineren Filmformaten, eine dreiflügelige Blende.

Wenn der Film aus dem Transportmechanismus kommt, gelangt er unter Einschalten einer Schleife auf eine Trommel (Nachwickeltrommel), die dafür sorgt, daß trotz des Zuges der angetriebenen Aufwickeltrommel die untere Filmschleife immer gleich groß bleibt.

Die Lichtführung des Projektors ist aus den Abb. 1 und 5 zu ersehen. Ein möglichst großer Teil des von der Lampe nach allen Seiten gleichmäßig ausgestrahlten Lichtes soll zur Projektion nutzbar gemacht werden; hierfür bündelt der Kondensor möglichst viel des nach vorn abgestrahlten Lichtes, während der Hohlspiegel das nach hinten abgestrahlte Licht nach vorn umlenkt. Er arbeitet dabei so, daß das Spiegelbild der Leuchtwendel zwischen die Glühfäden projiziert wird. Auf diese Art erhält man ein gleichmäßig ausgeleuchtetes Bild. Die Objektive der Projektoren sind meist von einfacher Bauart (lange Brennweite, kleiner Bildwinkel). Die Projektoren werden durch Elektromotoren angetrieben. Meist sitzt auf der Abtriebswelle des Motors ein Gebläse, das für ausreichende Kühlung der Lampe und der Filmführung sorgt.

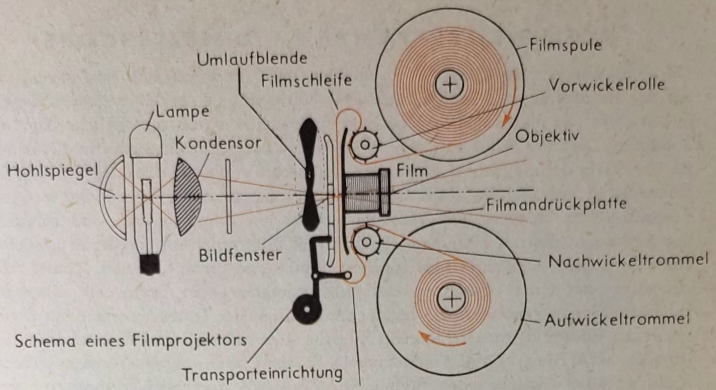


Abb. 1 Schema eines Filmprojektors

Abb. 2 Filmtransport durch Greifer

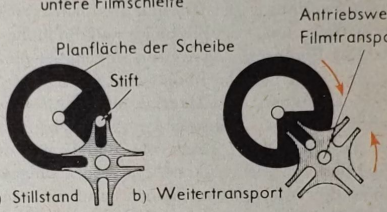


Abb. 3 Filmtransport durch Malteserkreuz

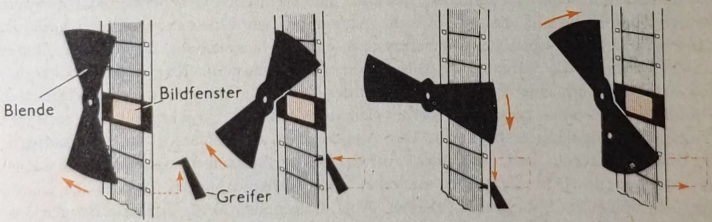


Abb. 4 Arbeitsschema einer zweiflügeligen Umlaufblende

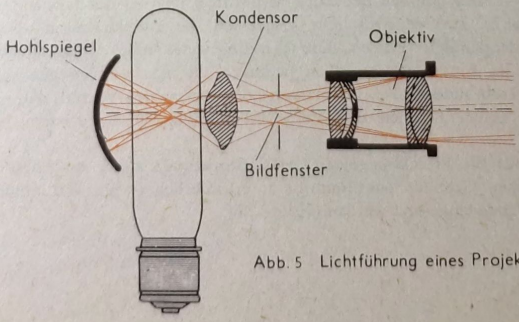


Abb. 5 Lichtführung eines Projektors (schematisch)

BREITBILDVERFAHREN I (CINEMASCOPE)

Die im folgenden beschriebenen Filmaufnahme- und Filmprojektionsverfahren entstanden aus der Erkenntnis, daß das Höhen/Breiten-Verhältnis des herkömmlichen Verfahrens in nur recht unvollkommener Weise dem entsprach, was das menschliche Auge sehen konnte und auf der Bildwand auch zu sehen erwartete. Zudem bedurfte die Tonqualität der Verbesserung, wobei besonders die Schalldefinition, d. h. das Erkennen und szenenmäßig richtige Zuordnen der Schallrichtung am Bild, notwendig war.

CinemaScope ist die geschützte Bezeichnung für ein Filmaufnahme- und Filmprojektionsverfahren, das mit Hilfe einer Spezialoptik Filmszenen großer Breitenausdehnung auf einer breiten Bildwand wiederzugeben erlaubt. Das breite CinemaScopebild arbeitet zusammen mit einer einspurigen Lichttonwiedergabe oder besser mit einer mehrkanaligen Magnettonwiedergabe, bei der die Herkunft des Tones (aus den Lautsprechern hinter der Bildwand) zum sichtbaren Bild paßt. CinemaScope- und Normalfilm (Abb. 1) stimmen in der Breite von rd. 35 mm überein. Bei der Einführung des Tonfilmes waren die Zwischenräume zwischen den Bildfeldern (Bildstriche) erheblich verbreitert worden, weil nach Einführung der Tonspur das Seitenverhältnis des Bildes nur durch gleichzeitige Verringerung von Bildbreite und Bildhöhe auf dem Film eingehalten werden konnte. Das Bildformat des CinemaScopefilmes nutzt auch die im Bildstrich verlorengegangene Fläche aus, die Bildhöhe ist wieder auf das alte Stummfilmmaß vergrößert. Die vier Tonspuren des Magnetton-CinemaScopeverfahrens erklären sich aus der Notwendigkeit einer realistischen, „stereophonischen" Tondarbietung: Das Gehör arbeitet mit zwei Ohren, Lautstärke- und Laufzeitunterschiede des Schalles werden in den Eindruck von Richtung und Entfernung umgewandelt. Man benutzt daher bei der Aufnahme drei Mikrophone, die den Schall der Szene unterschiedlich nach Lautstärke und Laufzeit erhalten und auf ein Magnetband registrieren. Analog dazu werden bei der Vorführung drei getrennte Lautsprechergruppen links, rechts und in der Mitte hinter der Bildwand eingesetzt. Die Effektspur ist mit Tonaufzeichnungen besetzt, die über Saallautsprecher Schall wiedergeben, der nach dem szenischen Geschehen nicht aus dem Bereiche der Bildwand stammt. Für die Aufnahme von CinemaScopefilmen sind die Kameras mit einem optischen Vorsatzsystem, einem *Anamorphoten*, ausgerüstet. Dieses Linsensystem hat die Aufgabe, das Bild in seiner Breite zusammenzupressen. Es handelt sich dabei also um eine Verzerrung des Bildes durch Verkleinerung des horizontalen Abbildungsmaßstabes gegenüber dem vertikalen. Bei der Projektion spielt sich der Vorgang in umgekehrter Form ab: Der Anamorphot des Projektors hat die Aufgabe, das Bild zu entzerren, d.h. zu dehnen. Auf der breiten Bildwand erscheint somit wieder ein naturgetreues Bild der aufgenommenen Szene. Anamorphoten können aus Linsen (Abb. 2), Spiegeln (Abb. 3) und Prismen (Abb. 4) aufgebaut sein. Vor dem Projektionsobjektiv in Abb. 2 sind die beiden Zylinderlinsen des Anamorphotsystems angeordnet, ihre optische Wirkung (ähnlich der eines Fernrohres) liegt in der Horizontalrichtung (Dehnungsfaktor 2). Im Vertikalschnitt erscheinen die Zylinderlinsen als praktisch wirkungslose planparallele Platten. Die Wirkungsweise eines Spiegelanamorphoten entspricht der des Linsensystems, doch bedingen die Spiegel eine gewisse Höhenversetzung des Lichtbündels. Prismenanamorphoten haben den Vorteil, daß man durch das Verdrehen beider Prismen den Vergrößerungsmaßstab des Systems verändern kann.

Die Bildwand für die Projektion eines CinemaScopefilmes sollte aus physiologischen und geometrischen Gründen gekrümmt sein; erforderlich ist die Krümmung, wenn Reflexionsbildwände eingesetzt werden (vgl. S. 224).

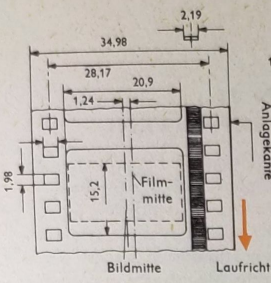


Abb. 1a Genormte Maße des Normalfilms (mm)

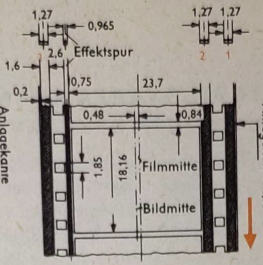


Abb. 1b Maße des Cinema-Scopefilms mit Magnettonaufzeichnung (vierspurig)

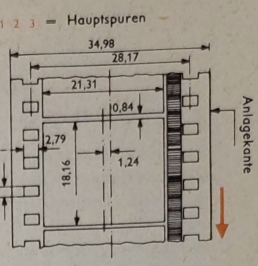
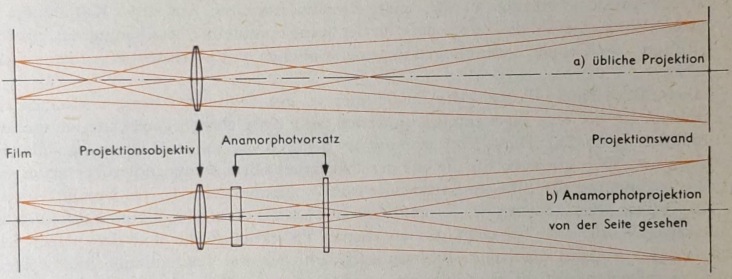


Abb. 1c Maße des CinemaScope-films mit Lichttonaufzeich-nung



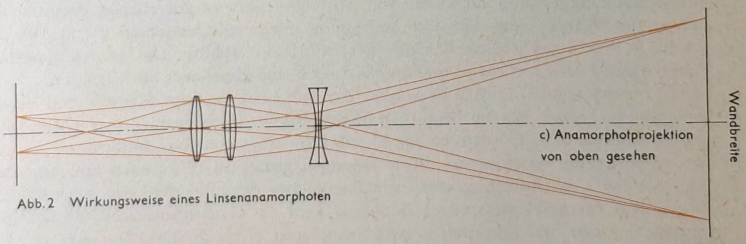


Abb. 2 Wirkungsweise eines Linsenanamorphoten

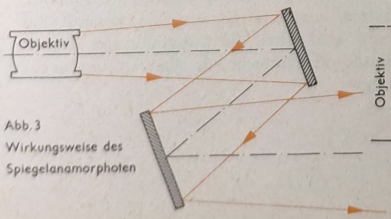


Abb. 3 Wirkungsweise des Spiegelanamorphoten

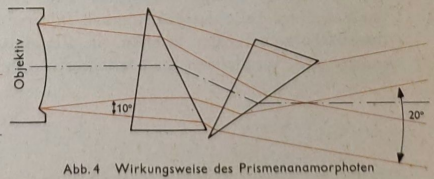


Abb. 4 Wirkungsweise des Prismenanamorphoten

BREITBILDVERFAHREN II (TODD-AO- UND CINERAMAVERFAHREN)

Ein weiteres modernes Breitbildverfahren ist das *Todd-AO-Verfahren.* Es soll wie das Cineramaverfahren (s.u.) dem Zuschauer das Gefühl der persönlichen Anwesenheit in der Szene vermitteln. Todd-AO arbeitet mit einem Film von rd. 65 mm Breite (Kopie 70 mm; Abb. 1a und 1b). Die Vergrößerung der Bildfläche erlaubt eine nur mäßige Projektionsvergrößerung, so daß die Bildschärfe auf der Projektionswand wächst. Der Ton wird mit sechs Mikrophonen aufgenommen und in sechs Magnettonspuren aufgezeichnet. Fünf Spuren entsprechen den unterschiedlichen Richtungen der Szene, die sechste dient als Effektspur (s. S. 222). Die Aufnahmekamera für Todd-AO ist, bedingt durch das breite Filmmaterial und den zu erzielenden Effekt, eine Sonderkonstruktion: Todd-AO-Filme werden mit Weitwinkelobjektiven (Aufnahmewinkel bis 128°; vgl. S. 184) aufgenommen. Das auffälligste Merkmal und ein wichtiges Element des Verfahrens ist der stark gekrümmte, breite Projektionsschirm. Auf diese Krümmung ist wesentlich das Gefühl des Zuschauers, an der Szene unmittelbar beteiligt zu sein, zurückzuführen. Die Gründe hierfür liegen in physiologischen und psychischen Vorgängen des Sehens.

Einem Beobachter, dessen Platz im Theater an der Seite vorn liegt, erscheinen die Objekte auf der dem Platz entgegengesetzten Seite einer ebenen Breitwand zusammengedrückt (Abb. 2a). Diese Verzeichnung wird durch die starke Krümmung teilweise korrigiert. Dies gilt auch für die aus der Projektion selbst stammenden Verzerrungen. Die Krümmung der Bildwand vermeidet oder verringert auch die Notwendigkeit, die Augenlinse beim Abtasten des Gesamtbildes den jeweils unterschiedlichen Entfernungen anzupassen, die sich bei einer großen ebenen Projektionsfläche und dem dabei notwendigen Abstand Zuschauer–Bildwand ergäben. Bei der Verwendung eines weißen, diffus reflektierenden Bildwandmaterials strahlen sich die Teile einer gekrümmten Projektionsfläche gegenseitig Licht zu (Abb. 2b); dies führt zu erheblichen Beeinträchtigungen des Bildkontrastes. Ein Bildwandmaterial mit einem Querschnitt wie in Abb. 2c (vertikale Riffeln aus weißem Kunststoff) schafft meist Abhilfe: Das an den einzelnen Punkten einfallende Licht wird praktisch nur noch zum Zuschauer hin reflektiert.

Im Gegensatz zum Todd-AO-Verfahren, das mit einer einzigen Kamera und einem Projektor auskommt, werden beim *Cineramaverfahren* für Bildaufnahme und -wiedergabe je drei Kameras bzw. Projektoren für 35-mm-Film eingesetzt. Der Bildwinkel, den die drei synchron aus verschiedenen Blickrichtungen gedrehten Bildstreifen umfassen, beträgt bis 146°; die Aufnahme entspricht damit etwa dem Blickfeld des menschlichen Auges. Auf der halbkreisförmigen Bildwand wird das Gesamtpanorama bei der Vorführung aus den drei Filmstreifen zusammengesetzt (Abb. 3). Das Tonverfahren bei Cinerama entspricht dem Magnettonverfahren mit sechs Spuren (fünf Hauptspuren, eine Effektspur) des Todd-AO-Verfahrens. Der Ton wird jedoch hier bei der Wiedergabe über einen von den Bildprojektoren unabhängigen vierten Projektor (Blindfilm, nur Tonaufzeichnung) abgespielt. Die schon erwähnte gegenseitige Beleuchtung der einzelnen Teile der gekrümmten Bildwand wird durch die Aufteilung der Projektionsfläche zu schmalen Streifen, die alle annähernd senkrecht zur Blickrichtung angeordnet sind, vermieden oder zumindest verringert.

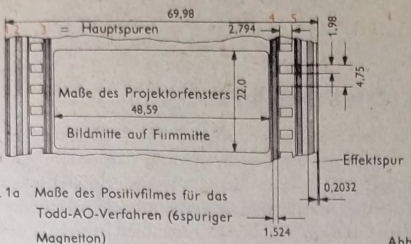


Abb. 1a Maße des Positivfilmes für das Todd-AO-Verfahren (6spuriger Magnetton)

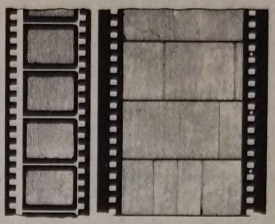


Abb. 1b Normalfilm und Todd-AO-Kopie im Flächenvergleich

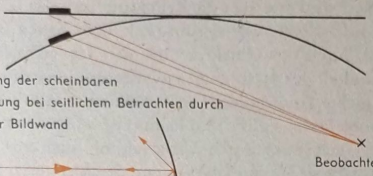


Abb. 2a Verringerung der scheinbaren Bildverzerrung bei seitlichem Betrachten durch Wölben der Bildwand

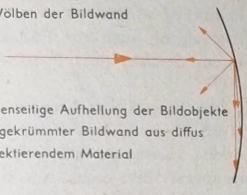


Abb. 2b Gegenseitige Aufhellung der Bildobjekte bei gekrümmter Bildwand aus diffus reflektierendem Material

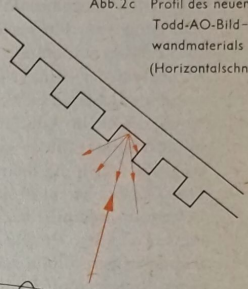


Abb. 2c Profil des neuen Todd-AO-Bildwandmaterials (Horizontalschnitt)

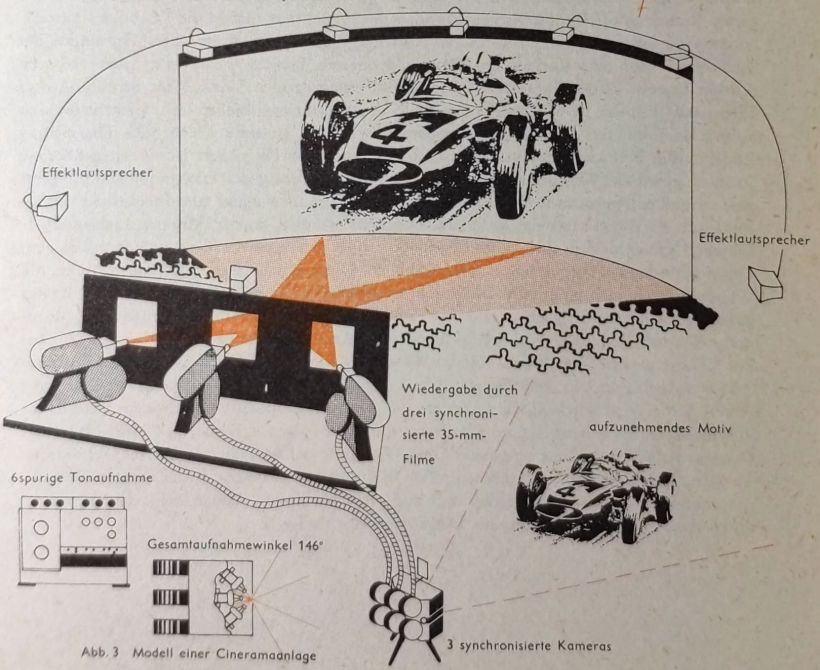


Abb. 3 Modell einer Cineramaanlage

PROJEKTIONSGERÄTE

Das *Episkop* ist ein Projektionsgerät für undurchsichtige, ebene Bilder (Papierbilder, Buchseiten usw.). Seine schematische Funktionsweise ist in Abb. 1 dargestellt. Der Wirkungsgrad (Lichtausbeute) des Episkops, d. h. das Verhältnis der Bildhelligkeit auf der Bildwand zum Energieausstoß der Projektionslampe, ist verhältnismäßig schlecht. Das rührt von den vielfachen Reflexionen her, die ein Teil der Lichtstrahlen innerhalb des Gerätes erleidet: Vom Glühfaden der Lampe werden Strahlen nach allen Richtungen ausgestrahlt; nur ein kleiner Teil dieser Strahlen trifft jedoch direkt auf das zu projizierende Bild, ein anderer größerer Teil wird erst über die Reflektoren auf das Bild geworfen. Von jedem einzelnen Punkt des Bildes gehen wiederum nach allen Seiten Strahlen aus, von denen nur ein geringer Teil durch das Objektiv über den Umlenkspiegel auf die Bildwand geworfen wird. Ein Großteil der Strahlen geht wiederum über die Reflektoren zurück auf das Bild. Durch geschickte Anordnung von Reflektoren und durch die Verwendung lichtstarker Weitwinkelobjektive (vgl. S. 184) kann die Lichtausbeute verbessert werden. Das in Abb. 2 gezeigte Gerät kann durch Umschaltung auch zur Projektion durchsichtiger Bilder verwendet werden (Epidiaskop); der Strahlenverlauf der Abb. zeigt die Schaltung beim Einsatz als Episkop.

Das *Diaskop* ist ein Projektionsgerät für durchsichtige Bilder (Diapositive, Negative). Es besteht im wesentlichen aus der Lichtquelle mit einem Hohlspiegel (Abb. 3), dem Kondensor und dem Projektionsobjektiv. Das von der Lichtquelle (meist eine Glühlampe mit wendelartigen Glühfäden) nach allen Seiten gleichmäßig abgestrahlte Licht trifft in der einen Richtung auf den Hohlspiegel, von dem es reflektiert und in die Ebene der Leuchtwendel zurückgeworfen wird. In der anderen Richtung trifft das Strahlenbündel der Lichtquelle auf den Kondensor, der bei größerem Projektor aus zwei plankonvexen Linsen besteht (Doppelkondensor). Er erfaßt einen großen Winkel der Strahlung und bildet das Bild der Leuchtwendel innerhalb des Projektionsobjektivs ab. Er arbeitet also selbst als Objektiv. Durch den Kondensor wird die gesamte Fläche des Diapositivs gleichmäßig hell ausgeleuchtet. Die Lichtausbeute eines Projektors ist um so größer, je größer der erfaßte Strahlungswinkel ist. Eine Vergrößerung des Strahlungswinkels kann man erreichen, wenn man z. B. Lichtquelle und Kondensor näher zusammenrückt. Dabei muß nun die Brechkraft des Kondensors größer werden, da der Abstand Lichtquelle – Objektiv gleichbleiben soll. Diese Aufgabe erfüllt eine meniskusförmige Linse, die dem Doppelkondensor vorgeschaltet wird (Abb. 5). Die Lichtausbeute wird nun größer, die Wendeln erscheinen innerhalb des Projektionsobjektivs vergrößert abgebildet. Durch das Zusammenrücken von Lichtquelle und Kondensor wird die vom Kondensor aufgenommene Wärmemenge, die von den glühenden Drahtwendeln ausgeht, größer. Die Linsen des Kondensors nehmen einen Teil der Wärme auf, dehnen sich aus und müssen infolgedessen so gelagert sein, daß die Ausdehnung aufgenommen werden kann. Ein weiterer Anteil der Wärme wird jedoch weitergeleitet. Um das Diapositiv zu schonen, wird daher innerhalb des Kondensors eine Platte aus einer die Wärmestrahlen gut absorbierenden Glassorte als Wärmefilter eingebaut. Die Glasplatte selbst erhitzt sich dabei sehr stark; sie wird daher oft aus mehreren Streifen zusammengesetzt, damit die inneren Wärmespannungen nicht zu groß werden und zum Bruch führen. Abb. 4 zeigt einen Schnitt durch das Epidiaskop, das nun als Diaskop geschaltet ist.

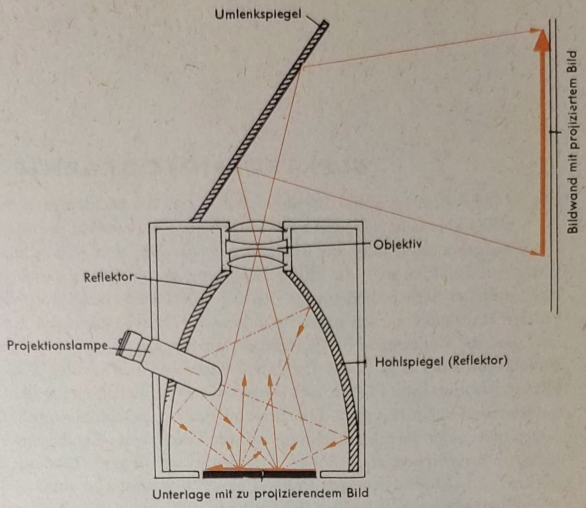


Abb. 1 Episkop (schematisch)

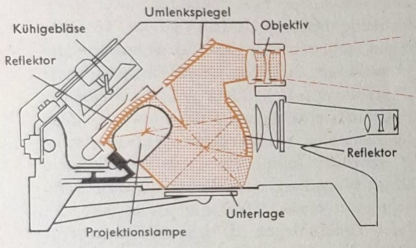


Abb. 2 Epidiaskop als Episkop geschaltet

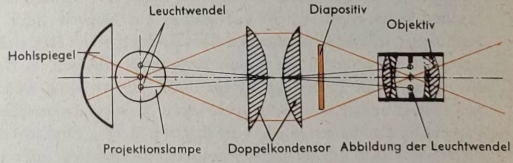


Abb. 3 Diaskop mit Doppelkondensor (schematisch)

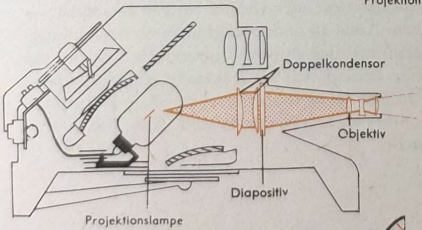


Abb. 4 Epidiaskop als Diaskop geschaltet

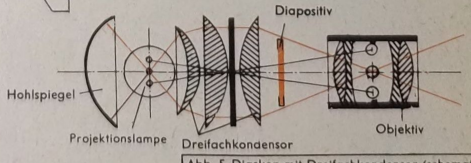


Abb. 5 Diaskop mit Dreifachkondensor (schematisch)

ELEKTROPHOTOGRAPHIE

Die übliche Photographie beruht auf der Lichtempfindlichkeit von Silberhalogeniden (s. S. 230). Das Bild wird dabei durch chemische Prozesse in flüssiger Phase entwickelt. Im Gegensatz dazu geht die Elektrophotographie von photoelektrischen und elektrostatischen Effekten aus, die Bildentwicklung geschieht auf trockenem Wege. Als lichtempfindlicher Schicht bedient sie sich der Oberfläche eines Photohalbleiters (vgl. S. 132). Solche Halbleiter weisen einen sehr hohen Dunkelwiderstand auf (bis zu 10^{14} Ohm), während ihr Widerstand bei Belichtung um 5 bis 7 Zehnerpotenzen niedriger ist. Solche Substanzen sind z. B. Selen (Se), Cadmiumsulfid (CdS) oder Zinkoxid (ZnO). Für die Elektrophotographie haben sich insbesondere dünne Selenschichten auf metallischem geerdetem Träger bewährt. Die Sensibilisierung geschieht durch Aufsprühen positiver Ionen aus einer Koronaentladung auf die Oberfläche. Zu diesem Zweck wird ein Netz parallel ausgespannter, dünner Drähte in geringem Abstand über die Oberfläche geführt. Die Drähte befinden sich auf einem Potential von rund + 8000 Volt (Abb. 1a). Die Oberfläche der Schicht wird dadurch auf etwa + 600 Volt gegenüber ihrer Rückseite aufgeladen, auf der sich eine entsprechende negative Influenzladung ausbildet (Abb. 1b). Bei Belichtung tritt an den belichteten Stellen infolge der Widerstandserniedrigung eine Entladung, d. h. ein Ausgleich der Ladungen zwischen Oberfläche und Rückseite ein. In Abb. 2a ist angenommen, daß rechts und links Licht auf den Halbleiter fällt, die Mitte aber unbelichtet bleibt (der dadurch entstehende Feldverlauf ist eingezeichnet). Das „Bild" ist damit latent als Ladungsrelief verschiedener elektrostatischer Aufladung entstanden. Seine „Entwicklung" geschieht mittels eines sehr feinkörnigen, elektrisch aufgeladenen Pulvers (z. B. gefärbtes Kunstharz), das Toner genannt wird. Die Bewegung solcher Tonerteilchen (Durchmesser etwa 1/1000 mm) ist in Abb. 2a eingezeichnet. Man kann je nach der Wahl der Tonerteilchen (d. h. je nach dem Vorzeichen ihrer elektrischen Aufladung) ein Negativ oder ein Positiv des unsichtbaren Ladungsreliefs sichtbar machen. Das Ladungsrelief läßt sich auch auf elektrischem Wege praktisch beliebig oft auf andere isolierende Flächen (z. B. Papier) übertragen und dort entwickeln. Die Fixierung erfolgt durch Erwärmung, welche die Kunstharzkörner zum Schmelzen bringt, so daß sie nicht mehr der elektrostatischen Kräfte bedürfen, um an der Papierfläche zu haften (s. Vervielfältigung S. 540). Die elektrische Leitfähigkeit wird durch Photoionisation infolge eines Photoeffektes hervorgerufen (Abb. 2b): Ein Lichtquant $h\nu$ (vgl. S. 132) spaltet ein Elektron von einem Atom ab und erzeugt dadurch ein Ladungsträgerpaar. Das negative Elektron neutralisiert eine positive Elementarladung an der Oberfläche, der positiv geladene Atomkern bewegt sich zur Rückseite und neutralisiert dort eine negative Ladung. In den Abb. 3a und 3b ist noch einmal an einem Beispiel das Zustandekommen eines sichtbaren Bildes im Negativ-Positiv-Prozeß (Abb. 3a) und im Positiv-Positiv-Prozeß (Abb. 3b) dargestellt.

Abb. 1a

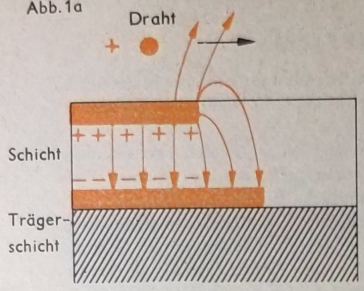
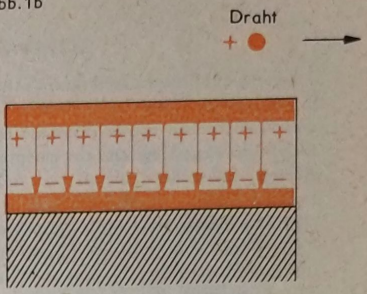


Abb. 1b



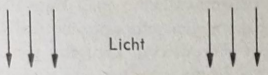


Abb. 2a

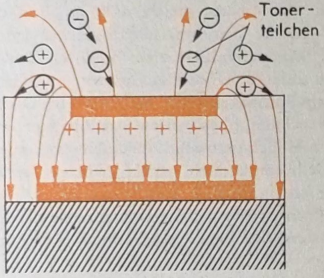


Abb. 2b

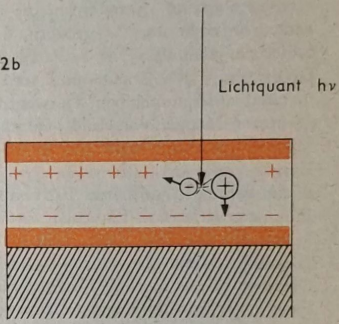


Abb. 3a

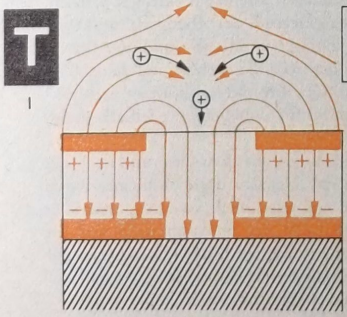
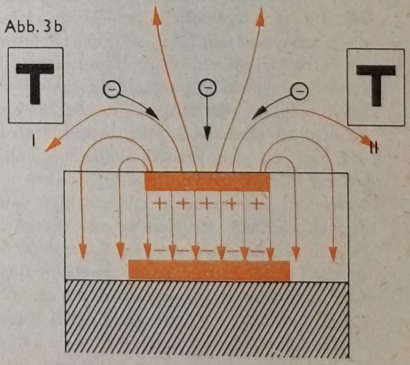


Abb. 3b



I = Ladungsrelief II = Tonerbild

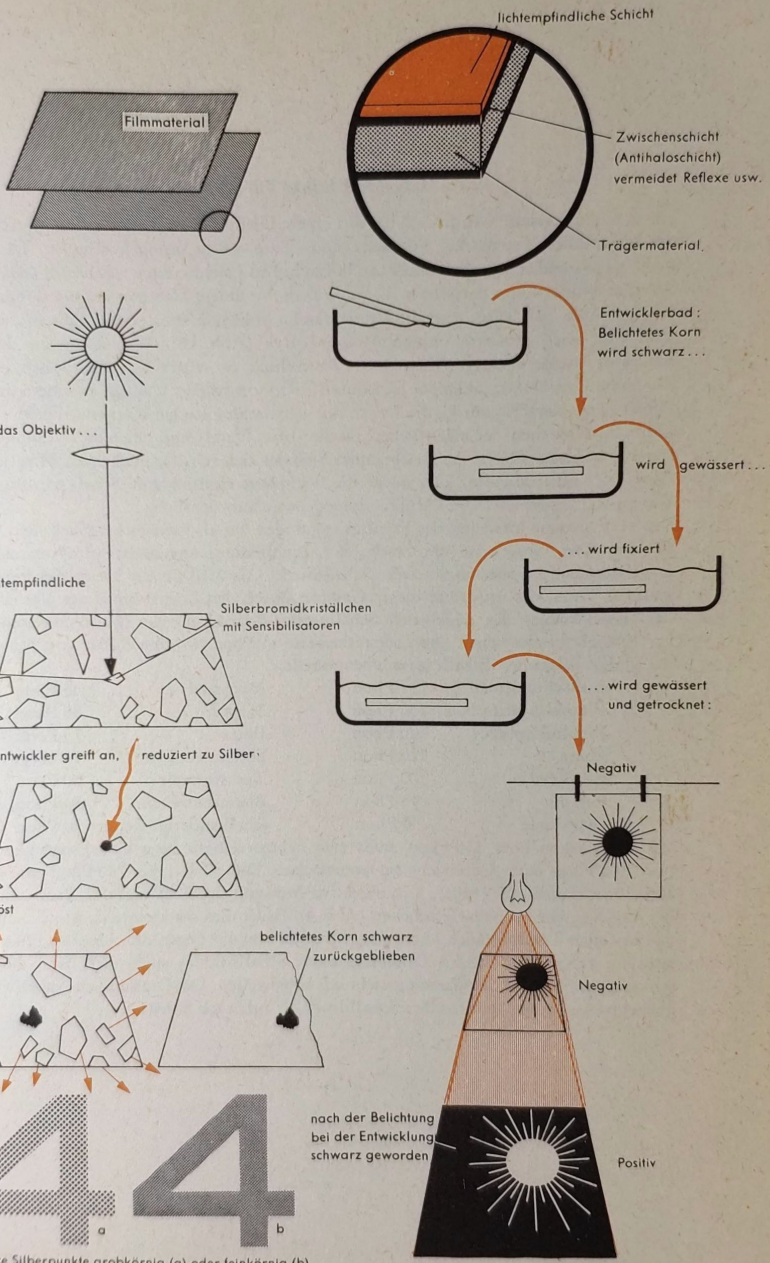
SCHWARZWEISSFILM

Schwarzweiß-Filmmaterial ist ein sehr lichtempfindliches photographisches Material, das in Filmrollen, Platten oder Papieren in den Handel kommt. Es dient zum Aufnehmen und Wiedergeben von Schwarzweißbildern.

Das Filmmaterial besteht aus einem meist sehr dünnen Träger, für den Nitrocellulose, Acetylcellulose oder Metall verwendet wird. Auf einer meist dunklen, dünnen Farbzwischenschicht (Antihaloschicht) ist die lichtempfindliche Emulsion aufgebracht, eine sehr dünne Schicht aus 40% Silberbromidkriställchen, 50% Gelatine als Bindemittel und 10% Wasser. Bei völliger Dunkelheit wird das Silberbromid emulgiert in Gelatinelösung mit weiteren Zusätzen maschinell auf das Film- oder Plattenmaterial aufgetragen. Die Korngröße der Silberbromidkristalle bestimmt die Lichtempfindlichkeit und das Auflösevermögen. Ein grobes Korn ist sehr stark lichtempfindlich – man kann damit fast im Dunklen Aufnahmen machen –, dafür ist aber das sogenannte optische Auflösevermögen gering. Aufnahmen, die mit grobkörnigem Filmmaterial gemacht wurden, kann man nicht stark vergrößern, sie würden sonst zu körnig werden. Die Original-Silberbromidemulsion ist nicht für alle Farben des Lichtes gleichmäßig empfindlich. Gelbgrüne, gelbe, orange und rote Farbtöne könnte man mit einem solchen Filmmaterial nicht aufnehmen. Deswegen wird die lichtempfindliche Schicht durch Zusatz geringster Mengen von Gold-, Quecksilber- und anderen Schwermetallionen zum Silberbromid und durch schwache Reaktion mit Sulfidionen chemisch sensibilisiert. Durch Zusatz von Farbstoffsensibilisatoren wird die Schicht physikalisch sensibilisiert und damit für einen größeren Farbtonbereich empfindlich gemacht. Orthochromatisches Filmmaterial ist von Blau über Grün bis zu Gelb empfindlich, orthopanchromatisches Material ist über Blau, Grün, Gelb bis zu Orange farbempfindlich, panchromatisches Filmmaterial ist über den ganzen Bereich des farbigen Lichtes bis zum Rot sensibilisiert. Daneben gibt es spezielle Filmmaterialien für wissenschaftliche Untersuchungen mit den verschiedenartigsten Empfindlichkeiten.

Das photographische Bild entsteht dadurch, daß die vom abzubildenden Gegenstand oder Objekt ausgehenden Lichtstrahlen durch das Linsensystem der Aufnahmekamera auf die lichtempfindliche Schicht des Films geleitet werden. Jeder Lichtstrahl stößt dort, wo er auf den Film trifft, auf Silberbromidkriställchen, die dabei aktiviert werden. Trifft beim späteren Entwicklungsprozeß im Entwicklerbad der chemisch wirkende Bildentwickler in Lösung auf ein durch Belichtung aktiviertes Silberbromidkriställchen, dann reduziert der Entwickler das betreffende Silberbromidkörnchen und seine Umgebung zu schwarzem Silbermetall. Unbelichtetes Silberbromid wird nicht reduziert und kann mit dem Fixierbad (einem Komplexlösemittel für unbelichtetes Silberbromid) aus der Filmschicht herausgelöst werden.

Nach dem Auswaschen der Entwickler- und Fixierlösungen aus dem Film und nach der Trocknung liegt das Negativ vor (natürlich kann das Negativ darüber hinaus durch Zwischenbäder, Zwischenbelichtung, Wärmebehandlung usw. noch vielfältig beeinflußt werden). Auf einem Negativ erscheint nun beispielsweise der Schatten weiß und die Sonne schwarz. Belichtet man durch ein solches Negativ hindurch das photographische Positivmaterial oder photographisches Papier, dann fällt durch den dunklen Negativteil kein Licht auf das Photopapier; nur durch die hellen Stellen hindurch kann das Photopapier belichtet werden. Die belichteten Photopapierstellen werden beim Entwicklungsprozeß wieder dunkel, die unbelichteten Stellen bleiben hell. Die hellen Schatten des Negativs werden im Positiv dunkel, so wie es das Auge auch in Wirklichkeit gesehen hat, und entsprechend wird die schwarze Sonne des Negativs im Positiv wieder hell.



Schwarze Silberpunkte grobkörnig (a) oder feinkörnig (b)

LÄRM, LAUTSTÄRKE

Unter Lärm versteht man Schall, der aus einem Gemisch von Luftschwingungen besteht, das hinsichtlich Lautstärke, Frequenz und Phase völlig unregelmäßig ist. Lärm wird meist als störend empfunden und kann bei zu hohen Lautstärken zu Gehörschäden führen. Solch störender Lärm entsteht z. B., wenn man mit einem Hammer auf ein dünnes Blech schlägt (Abb. 1a). Trägt man die Lautstärke in Abhängigkeit von der Zeit auf, so erhält man eine stark gezackte unregelmäßige Kurve (Abb. 1b). Vor störendem Lärm zu schützen, ist eine wichtige Aufgabe der Bautechnik. So wird z. B. in Bürosälen, in denen das Schreibmaschinengeklapper sich durch Reflexion an den Wänden zu einem unerträglichen Lärm steigern würde, die Decke mit schallschluckenden Konstruktionen versehen (Abb. 2). Zwischen der eigentlichen Decke (bzw. Wand) und einer in bestimmtem Abstand gehaltenen Fläche aus Lochplatten befindet sich schallschluckendes Material (z. B. Glas- oder Mineralwolle). Der durch die Lochplatte eindringende Schall wird in diesem Dämmstoff absorbiert. Die Lärmminderung ist außerordentlich.

Die verschiedene Intensität des Schalles empfinden wir als Lautstärke. Nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz ist die Stärke der Empfindung angenähert proportional dem Logarithmus der Stärke des Reizes (Schalldruck). Als Maß für die Lautstärke verwendet man das Phon, das aufgrund dieses Gesetzes durch den Logarithmus des Verhältnisses des Schalldruckes des gegebenen Schalls zum Schalldruck der Wahrnehmungsgrenze bei 1000 Hz bestimmt ist. Die Lautstärkewerte in Phon für eine Reihe von Schallquellen sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Luftschutzsirene	135 Phon	Motorrad	85 Phon
Flugzeug beim Start	130 Phon	Moped	80 Phon
Preßlufthammer	120 Phon	Büro	75 Phon
Hupe	110 Phon	Straßenverkehr	70 Phon
Fabrikhalle	100 Phon	Transformator	60 Phon
U-Bahn	95 Phon	Blätterrauschen	30 Phon
Lastwagen	90 Phon	schallisolierter Raum	10 Phon

Bei Lautstärken über 130 Phon stellt sich Schmerzempfindung ein. Dauernder Lärm über 100 Phon kann Gehörschäden verursachen. Die Skala 1 bis 140 Phon umfaßt das Schalldruckverhältnis $1:10^{14}$. Die objektive Messung des Schalldruckes kann mit Hilfe der Rayleighschen Scheibe geschehen (Abb. 4). Es ist dies ein kleines dünnes Scheibchen, das an einem Torsionsfaden unter einem Winkel von 45° gegen die Schallfortpflanzungsrichtung aufgehängt ist. Im Druckfeld eines Schallstrahles sucht sich das Scheibchen senkrecht zu dessen Fortpflanzungsrichtung einzustellen. Die Drehung aus seiner Gleichgewichtslage ist ein Maß für den Schalldruck. – Vgl. auch S. 640.

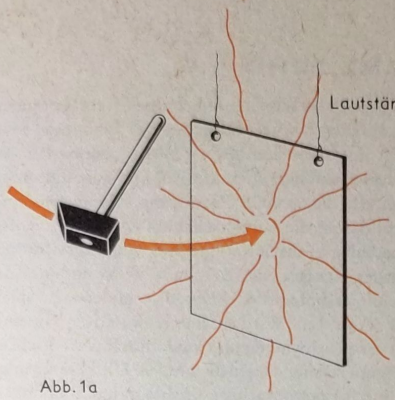


Abb. 1a

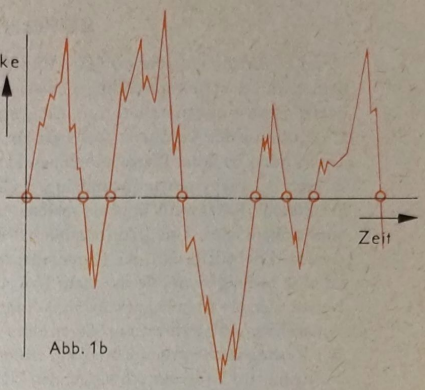
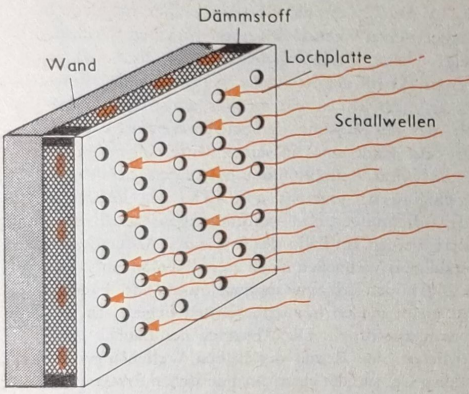


Abb. 1b



Schallabsorption

Abb. 2

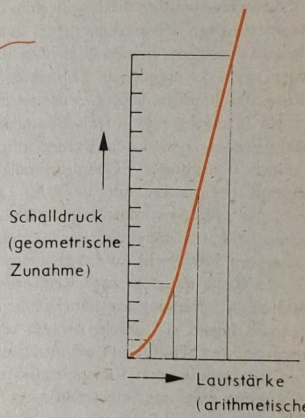


Abb. 3 Zum Weber-Fechnerschen Gesetz

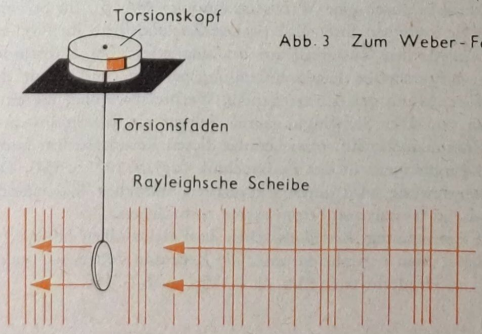


Abb. 4 Schalldruckmessung Schallwellen

RESONANZ, ECHO

Unter Resonanz versteht man das Mitschwingen von schwingungsfähigen Gebilden unter dem Einfluß verhältnismäßig schwacher äußerer Kräfte, die periodisch einwirken und deren Schwingungsperiode mit derjenigen des resonierenden Gebildes übereinstimmt. Im Zustand der Resonanz speichert das resonanzfähige Gebilde Energie auf, die unter Umständen so hohe Werte annehmen kann, daß sie zu einer Zerstörung führen. Das einfachste Beispiel eines resonanzfähigen Gebildes ist die Kinderschaukel (Abb. 1a). Sie ist ein Pendel, das jeweils bei maximalem Ausschlag in der jeweiligen Schwingungsrichtung angestoßen wird. Das „Aufschaukeln" seiner Energie, die Resonanz, wird unmittelbar daraus ersichtlich, daß der Pendelkörper immer höher ausschlägt. Ein anderes Beispiel ist eine Flüssigkeitssäule in einem U-Rohr (Abb. 1b). Wird sie durch einseitiges Hineinblasen aus der Ruhelage gebracht, beginnt sie zu schwingen und kann durch periodischen Anstoß ebenfalls zu immer größeren Schwingungsweiten veranlaßt werden. Die Begrenzung der Resonanzschwingungen erfolgt dabei durch Energieverluste (insbesondere Reibungsverluste). Im Falle der schwingenden Flüssigkeitssäule entstehen diese durch die Reibung der Flüssigkeit an der Rohrwandung. In Abb. 2a ist die Resonanz einer magnetisch polarisierten Stahlbandfeder mit dem magnetischen Wechselfeld eines von einem Wechselstrom erregten Elektromagneten gezeigt. Diesen Resonanzeffekt benutzt man z. B. in Frequenzmessern. Seinen Ursprung hat der Begriff der Resonanz in der Akustik (Resonanz heißt ja eigentlich „Mittönen"). In Abb. 2b ist ein solcher akustischer Resonator, das Kundtsche Rohr, dargestellt, das der Messung der Schallwellenlänge dient. In ein Glasrohr ragt – freischwingend – das Ende eines in seiner Mitte eingespannten Metallstabes, der durch Reiben mit einem mit Kolophonium bestreuten Lappen zu Längsschwingungen (Longitudinalschwingungen) angeregt wird. Der am Rohrende angebrachte Stempel ruft im Rohr Luftverdichtungen und -verdünnungen (Schall) hervor, die vom Abstimmstempel reflektiert werden. Im Falle der Resonanz (Abstand zwischen beiden Stempeln gleich ungeradzahligem Vielfachen einer viertel Wellenlänge des erzeugten Schalles in Luft; vgl. auch S. 240) bilden sich Schwingungsknoten und -bäuche. In das Rohr eingebrachtes Korkpulver bleibt in den Knotenbereichen liegen. An den Stellen der Schwingungsbäuche wird es fortgewirbelt. Die Abstände der Bäuche bzw. Knoten lassen sich leicht messen und liefern den Betrag der halben Wellenlänge des untersuchten Schalles in Luft. Auch auf dem Gebiete der elektromagnetischen Erscheinungen beobachtet man Resonanzeffekte. Das bekannteste und wichtigste Beispiel ist die Anregung eines aus Selbstinduktion L und Kapazität C bestehenden elektromagnetischen Schwingungskreises durch eine Wechselspannung (Abb. 3). Im Schwingungskreis pendelt die Energie zwischen ihrer elektrischen Zustandsform im Kondensator (Abb. 3a) und ihrer magnetischen Zustandsform im Magnetfeld der Selbstinduktion (Abb. 3b) hin und her. Stimmen die Eigenschwingungsperiode (und damit die Frequenz) des Schwingungskreises mit der der erregenden Wechselspannung überein, so liegt der Fall der Resonanz vor. Der Schwingungskreis nimmt ein Maximum an Energie aus der erregenden Energiequelle auf. Man benutzt diesen Resonanzeffekt zum Abstimmen von Sendern und Empfängern in der Funktechnik (vgl. S. 100; S. 654). Das Erreichen zerstörender Energiewerte wird durch Einschalten ohmscher Widerstände verhindert, die Energieverluste in Gestalt von Stromwärme verursachen.

Eine weitere Erscheinung, die akustischen und elektrischen Schwingungen gemeinsam ist, ist das Echo. Man versteht darunter die Reflexion von Schall- oder elektromagnetischen Wellen an Hindernissen (Abb. 4). — Vgl. auch S. 146.

Abb. 1a

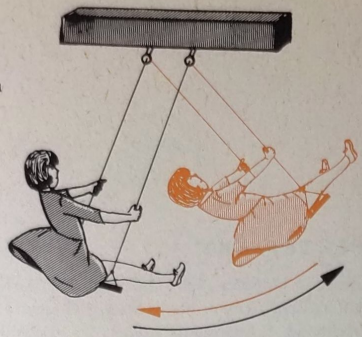
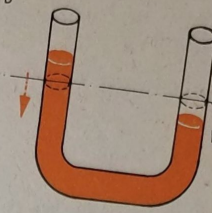


Abb. 1b



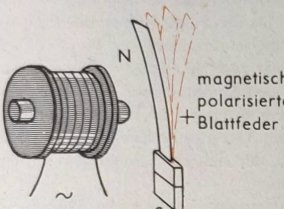


Abb. 2a

Elektromagnet
durch Wechselstrom erregt

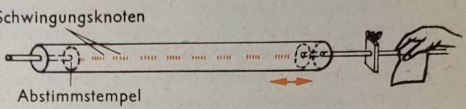
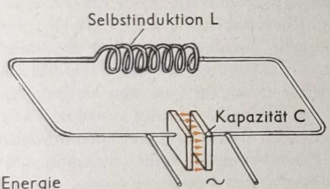


Abb. 2b Akustischer Resonator



Energie
im elektrischen Feld des Kondensators

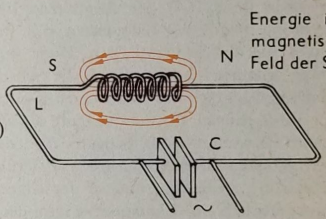


Abb. 3 Anregung eines Schwingungskreises

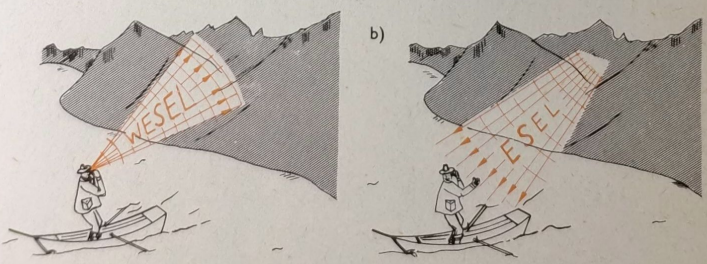


Abb. 4 Echo als Reflexion von Schallwellen an einem Hindernis

DOPPLEREFFEKT

Nach dem österreichischen Physiker Christian Doppler (1803–1853) ist die Erscheinung benannt, daß bei abnehmendem Abstand zwischen einem Beobachter und einer Schwingungsquelle die Frequenz der beobachteten Schwingung höher, bei zunehmendem Abstand niedriger erscheint, als wenn Beobachter und Schwingungsquelle gegeneinander ruhen. Zur Erklärung dieser Erscheinung dienen die Abb. 1 und 2: Nähert sich eine Schallquelle (pfeifende Lokomotive) einem ruhenden Beobachter (Abb. 1), so treffen diesen mehr Dichteschwankungen in der Zeiteinheit. Da die Tonhöhe von der Frequenz (Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit) abhängig ist, erscheint der Ton der Pfeife höher als es der Fall wäre, wenn die Lokomotive relativ zum Beobachter ruhte oder sich gar von ihm entfernte. Sehr häufig beobachten wir den Dopplereffekt in Gestalt eines Umschlags der Tonhöhe von einem höheren zu einem tieferen Ton, wenn im Straßenverkehr ein hupendes Auto schnell an uns vorüberfährt. Der gleiche Effekt tritt für einen bewegten Beobachter (Motorradfahrer) ein (Abb. 2), der sich einer ruhenden Schwingungsquelle (Sirene) nähert bzw. sich von ihr entfernt.

Besondere Bedeutung hat der Dopplereffekt für die Astrophysik gewonnen. Dort beobachtet man nämlich an weit entfernten Sternen (Spiralnebeln) eine Verschiebung der Spektren (s. S. 164) der chemischen Elemente in ihrer Frequenzlage, und zwar in Richtung niedrigerer Frequenzen, d.h. in Richtung größerer Wellenlängen bzw. auf das rote Ende des Spektrums hin. Diese sogenannte Rotverschiebung sagt – als Dopplereffekt gedeutet – aus, daß sich die Schwingungsquelle (Spiralnebel) in einer dauernden Fluchtbewegung vom Beobachter weg befindet. Vorausgesetzt, daß diese Ausdeutung der beobachteten Rotverschiebung als Dopplereffekt richtig ist (was von einigen Forschern bezweifelt wird), bedeutet dies, daß sich das Universum ständig ausdehnt. Diese Verhältnisse sind in Abb. 3 schematisiert dargestellt: Ein Stern, der sich auf den irdischen Beobachter zu bewegt und an der allgemeinen Fluchtbewegung nicht teilnimmt, wird dann natürlich eine Blauverschiebung der an ihm beobachteten Spektren zeigen.

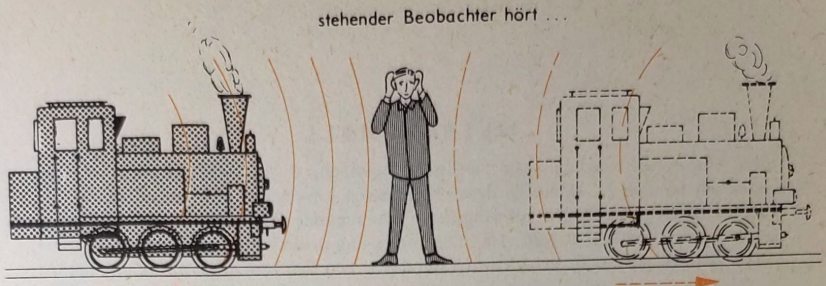


Abb.1

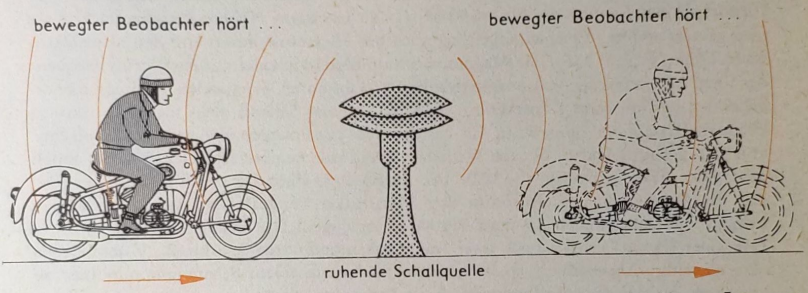
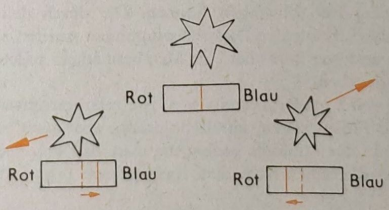


Abb.2

Abb.3



irdischer Beobachter

Im Lichtspektrum entspricht Blau der höheren und Rot der niedrigeren Frequenz

Rotverschiebung als Dopplereffekt gedeutet

ULTRASCHALL

Unter Ultraschall versteht man Schallschwingungen, d. h. Dichteschwankungen in elastischen Medien (z. B. Luft), deren Frequenzen jenseits der Hörgrenze liegen, also etwa im Bereich von 20000 Schwingungen pro Sekunde (Hz) an. Die bisher erreichte obere Grenze liegt bei 10 Mill. Hz. Die Erzeugung derartig hochfrequenter elastischer Schwingungen geht von verschiedenen physikalischen Erscheinungen aus. Zunächst lag es nahe, das alte akustische Prinzip der Schallerzeugung durch Pfeifen auf Ultraschallfrequenzen auszudehnen. Dies geschieht mittels der Galtonpfeife (Abb. 1). Es ist dies eine Pfeife (vgl. S. 240), bei der die Stellung von Spalt und Lippe mittels mikrometrischer Einstellung reguliert werden kann. Sie wird mit Druckluft angeblasen und gestattet es, Ultraschall mit Frequenzen bis zu 30000 Hz zu erzeugen. Höhere Frequenzen erreicht man mittels anderer Erscheinungen, nämlich der Magnetostriktion und des piezoelektrischen Effekts (vgl. S. 116). Die Magnetostriktion besteht in einer mit der Wechselfrequenz des den Magnetismus von magnetisierbaren Substanzen erregenden Stromes einhergehenden periodischen Kontraktion. In Abb. 2 ist das Schema eines magnetostriktiven Ultraschallerzeugers dargestellt. Er besteht aus voneinander isolierten Nickelblechen von 0,1–0,3 mm Dicke, die die Wirbelstromverluste herabsetzen. Der Aufbau ähnelt dem eines Transformators (S. 122). Die angedeutete Führung der Wicklung bewirkt, daß das Magnetfeld geschlossen in dem Metallpaket verläuft. Man kann nach diesem Prinzip Ultraschallwellen bis etwa 200000 Hz erzeugen. Die Schallabstrahlung (z. B. in Luft oder Wasser) erfolgt nach zwei Seiten (oben und unten in Abb. 2). Wünscht man eine einseitige Abstrahlung, so ist die eine Fläche mit einem Schaumgummipolster zu versehen, das wie ein schallundurchlässiges Luftpolster wirkt.

Noch höhere Frequenzen erreicht man mit dem piezoelektrischen Effekt. Runde Quarzplatten, die in der in Abb. 3 dargestellten Weise aus dem sechseckig kristallisierenden Quarz herausgeschnitten werden, werden nach Abb. 4 am Rande so eingespannt, daß sie auf beiden Kreisflächen durch dünne Metallhäute eine hochfrequente Aufladung erfahren, aber trotzdem frei schwingen können. Die durch den piezoelektrischen Effekt entstehenden hochfrequenten Dickeschwingungen werden auf die Luft einer Luftkammer übertragen und von dort über eine Membran an ein anderes angrenzendes Medium (z. B. Wasser) abgegeben.

Ultraschall wird in der Technik u. a. zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, zur Entgasung von Flüssigkeiten, zur Echolotung, aber auch in der Medizin zu Heilzwecken verwendet. In der Zoologie beobachtet man, daß sich manche Tiere (z. B. Fledermäuse) mit Ultraschallstrahlen nach dem Radarprinzip (vgl. S. 146) orientieren.

Abb. 1 Galtonpfeife

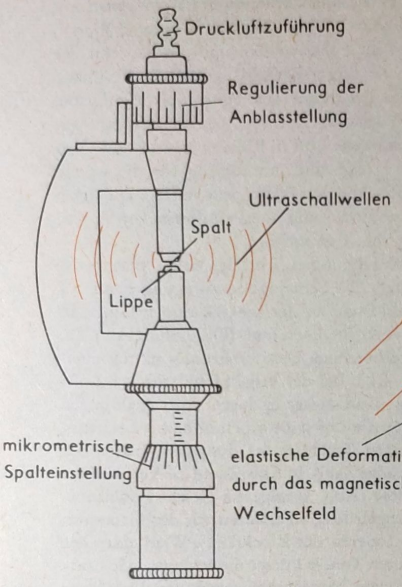


Abb. 2 Schema eines magnetostriktiven Schallsenders

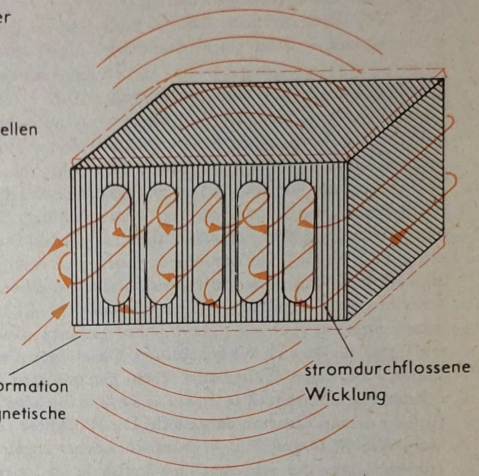


Abb. 3 Schnittlage eines Ultraschallquarzes

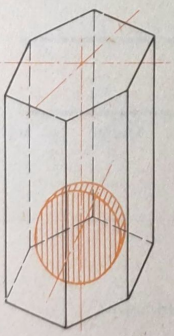
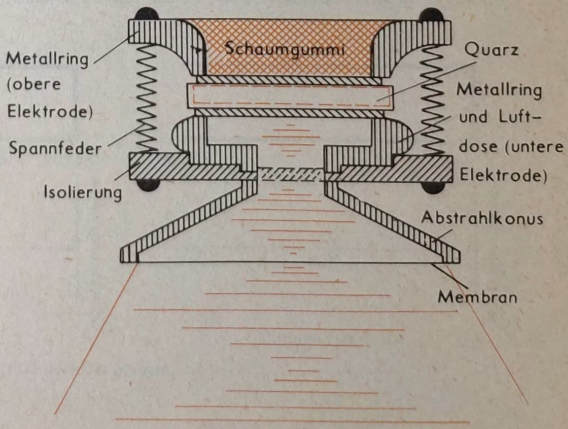


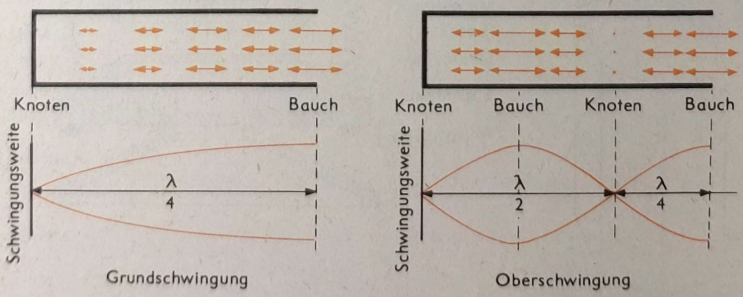
Abb. 4 Piezoelektrischer Schallsender



PFEIFEN

Hält man über einen Standzylinder eine Stimmgabel, so gelingt es, die Luftsäule im Standzylinder bei richtiger Wahl ihrer Länge in Resonanzschwingungen zu versetzen. Stimmt man nämlich die Länge (l) der Luftsäule durch Eingießen von Wasser so ab, daß sie ein ungerades Vielfaches (n) eines Viertels der Schallwellenlänge (λ) des von der Stimmgabel erzeugten Tones beträgt ($l = n\,\lambda/4$; n = ungerade Zahl), so herrscht Resonanz (s. S. 234). Dies bedeutet, daß die Luftsäule im Rhythmus des Tones der Stimmgabel schwingt, wodurch der Ton verstärkt wird. Es bilden sich dabei sogenannte Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche. An den Knoten ist die Luft in Ruhe, während sie an den Bäuchen ständig hin- und herschwingt; Abb. 1 zeigt ihre Anordnung für die zweite Oberschwingung (den zweiten Oberton; vgl. auch Abb. auf dieser Seite unten). Die dabei auftretenden Verdünnungen (am offenen, oberen Ende) und Verdichtungen (am festen, unteren Ende) sind für den dritten Oberton in Abb. 1 gezeichnet.

Die Anregung von Luftsäulen zu Resonanzschwingungen wird bei allen Blasmusikinstrumenten zur Erzeugung von Tönen benützt. Die Schwingungsanregung kann auf zwei Arten geschehen: entweder durch Wirbelablösung an der scharfkantigen Lippe, an der ein aus einem Spalt austretender Luftstrom vorbeiströmen muß (Orgelpfeife Abb. 2a, Blockflöte Abb. 3), oder durch periodische Unterbrechung des Luftstromes mittels einer schwingenden Metallzunge (Zungenpfeife Abb. 2b). Bei der Orgelpfeife tritt der Luftstrom zunächst in eine speichernde Luftkammer, dann strömt er durch einen Spalt gegen die Lippe, an der sich Wirbel ablösen. Diese regen die Luftsäule im Hohlraum zu Schwingungen an, deren Wellenlänge einen ganzzahligen Bruchteil der doppelten Länge der offenen Pfeife beträgt ($\lambda = 2l/n$; $l = n\lambda/2$; n = ganze Zahl). In Abb. 2 sind die Verhältnisse für den dritten Oberton dargestellt. Die Blockflöte (Abb. 3) zeigt die gleiche Funktionsweise wie die Orgelpfeife. Werden alle Löcher zugehalten, so erhalten wir den Grundton (größte Länge der schwingenden Luftsäule im Inneren der Blockflöte). Wird eines der Löcher geöffnet, so erhält man einen um so höheren Ton, je kürzer die schwingende Luftsäule ist. Bei der Zungenpfeife (Abb. 2b) wird eine Metallzunge durch den Luftstrom mitgerissen und unterbricht die Strömung durch Verschließen der Ausströmöffnung. Kommt die Luft zur Ruhe, federt die Zunge zurück und das Spiel beginnt von neuem; durch die periodische Unterbrechung wird die Luftsäule im angrenzenden Trichter zu Schwingungen gleicher Schwingungszahl angeregt. Zungenpfeifen werden z. B. im Harmonium, in der Mundharmonika, in der Klarinette und in der Oboe verwendet.



einer einseitig offenen Luftsäule

gedeckte Pfeife 1 Oktave tiefer

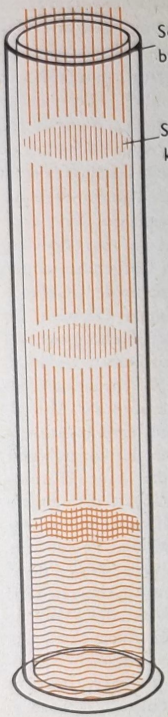


Abb. 1 Stimmgabel ruft Resonanz-schwingungen hervor

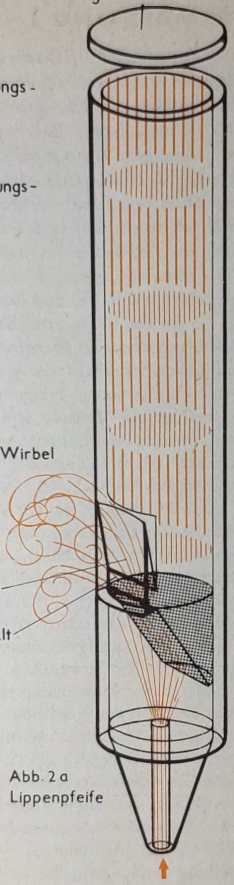


Abb. 2a Lippenpfeife

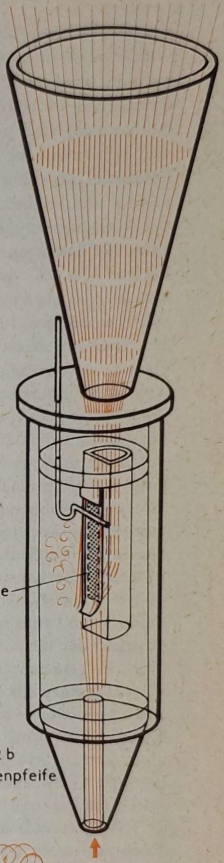


Abb. 2b Zungenpfeife

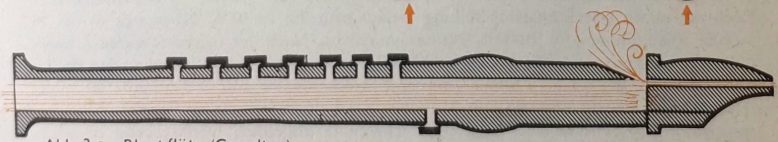


Abb. 3a Blockflöte (Grundton)

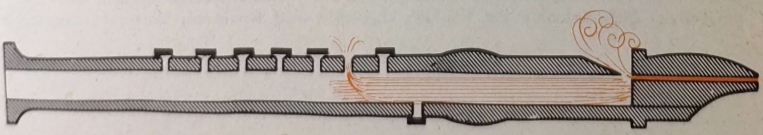


Abb. 3b Blockflöte (Ton gegenüber Abb. 3a eine Oktave höher)

VERMESSUNG I

Eine Größe messen heißt, sie mit einer anderen, ihr gleichartigen, als Maßeinheit gewählten Größe vergleichen oder ihr Verhältnis zu dieser angeben. Für die Längen- oder Streckenmessung wird meist das (Internationale) Meter als Maßeinheit benutzt. Bei vermessungstechnischen Arbeiten (Grundstücksvermessungen, Bauabsteckungen, topographische Aufnahmen) sind unmittelbare und mittelbare Längenmessungen üblich. Die wichtigsten Hilfsmittel für die unmittelbare Methode sind (von Schrittzähler, Meßrad und Feldzirkel abgesehen) aufliegende Meßlatten und Meßbänder sowie freihängende Bänder und Drähte aus Stahl oder Invar. In ebenem und horizontalem Gelände besteht der Messungsvorgang beim Messen mit Meßlatten im wechselnden Aneinanderlegen eines Meßlattenpaares. In nicht horizontalem, geneigtem Gelände sind das Ablotverfahren (Abb. 1a), das Reduktionsverfahren (Abb. 1b) und das Zulegeverfahren (Abb. 1c) üblich (mittlere Fehler von nur ± 2-3 cm auf 100 m erreichbar). Bei Längenmessungen mit dem Meßband besteht der Messungsvorgang in ebenem und horizontalem Gelände im Aneinanderreihen der Meßbandlängen innerhalb der zu messenden Geraden. In ebenem und geneigtem Gelände mit stets gleichem Neigungs- oder Böschungswinkel α (mit Neigungsmesser bestimmt) erfolgt die Messung wie im horizontalen Gelände, doch ist die schräg gemessene Länge l wie bei der Lattenmessung (Abb. 1b) zu reduzieren (mittlere Fehler von ± 3–4 cm auf 100 m). In unebenem Gelände sind das Ablotverfahren und das Reduktionsverfahren gebräuchlich. Die Genauigkeit der Längenmessung mittels geeichter Meßlatten oder Meßbänder ist vor allem von der sorgfältigen Ausführung abhängig. Freihängende Bänder oder Drähte aus Stahl oder Invar (Wärmeausdehnungskoeffizient nahezu Null) benutzt man bei Längenmessungen mit hohen Genauigkeitsanforderungen, z. B. beim Messen von Grundlinien zur Maßstabsbestimmung in Triangulierungsnetzen (Basismessung), wo Strecken mit einem mittleren Fehler von ± 1 mm auf 1000 m bestimmt werden. Die Bänder oder Drähte liegen über Marken oder Stativen und sind mit Hilfe von Gewichten oder Federwaagen gespannt (Abb. 2). Der Abstand der Geländepunkte ergibt sich aus der Sehnenlänge des Bandes oder Drahtes. Von der gemessenen Bogenlänge ist u. a. eine Durchhangverbesserung abzuziehen, die vom Eigengewicht des Bandes oder Drahtes, der Spannung und – bei ungleich hohen Auflagepunkten – auch von der Neigung der Sehne abhängt. Bei der mittelbaren Längenmessung wird eine lange, nicht notwendig überall zugängliche Strecke aus einer kurzen Strecke durch Messung eines parallaktischen Winkels abgeleitet. Grundlage der Winkelmessung ist der Vollkreis, der aus 4 Viertelkreisen (rechten Winkeln oder Quadranten) besteht. Nach der alten oder Sexagesimalteilung wird der Vollkreis in 360° (Altgrad) unterteilt, wobei $1° = 60'$ (Altminuten) $= 3600''$ (Altsekunden) ist. Nach der neuen oder Zentesimalteilung zerlegt man ihn in 400^g (Neugrad), wobei $1^g = 100^c$ (Neuminuten) $= 10000^{cc}$ (Neusekunden) ist. Nach der *trigonometrischen Methode* (Abb. 3a) wird mit einem Theodolit der Winkel γ gemessen, den die Visuren zu den Enden einer Basislatte der Länge b bilden (mittlerer Streckenfehler von ± 2 cm auf 100 m erreichbar). Die *optische Methode* (Abb. 3b) arbeitet mit einem konstanten Winkel γ; die entsprechende Basis wird an einer Latte im Streckenpunkt abgelesen. Der konstante parallaktische Winkel kann durch einen Prismenkeil vor dem Objektiv erzeugt werden, wodurch ein Teil der Zielstrahlen um den Winkel γ abgelenkt wird. Bestimmte Instrumente liefern

Abb. 1a Abloteverfahren oder Staffelmessung

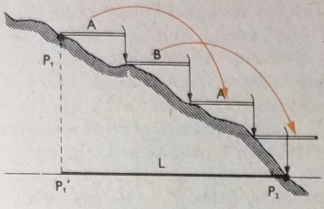


Abb. 1b Reduktionsverfahren

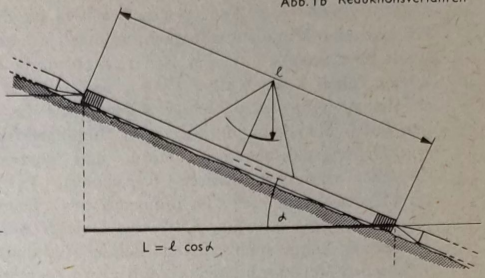
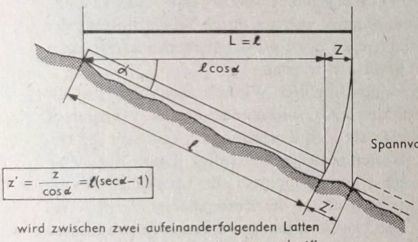


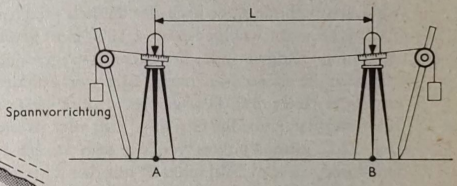
Abb. 1c Zulegeverfahren

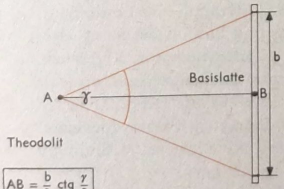


$$z' = \frac{z}{\cos\alpha} = \ell(\sec\alpha - 1)$$

wird zwischen zwei aufeinanderfolgenden Latten „zugelegt"

Abb. 2 Längenmessung mit freihängenden Bändern oder Drähten

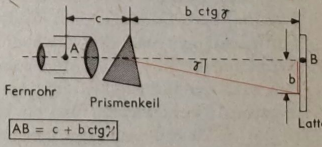




Theodolit

$$AB = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2}$$

Abb. 3a
Trigonometrische Methode (Messung des parallaktischen Winkels nach der Basis b)



$$AB = c + b \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2}$$

Abb. 3b Optische Methode (konstanter parallaktischer Winkel γ)

auch bei geneigter Visur unmittelbar die horizontale Entfernung der Bodenpunkte (Tachymetrie). *Elektronische Entfernungsmeßverfahren* beruhen auf Messungen von Laufzeiten, Phasen- oder Modulationsfrequenzen an elektromagnetischen Wellen. Durchläuft eine Welle eine Strecke S in der Zeit t, dann ergibt sich bei bekannter Fortpflanzungsgeschwindigkeit c der Welle: $S = c\,t$, wobei der in Luft gültige Wert für c aus $c_0 : n$ abgeleitet wird (c_0 = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, n = Brechungsexponent der Luft). Man kann unterscheiden: Impulsverfahren (Radar, Shoran usw.), Phasenverschiebungsmessungen im Mittel- und Langwellenbereich (Decca usw.), elektrooptische Entfernungsmesser (Geodimeter usw.) und Phasenvergleichsverfahren im Mikrowellenbereich (Tellurometer usw.). Die Verfahren ermöglichen Längenmessungen bis etwa 800 km. *Entfernungsmessungen mittels Lichtinterferenzen* sind die derzeit genauesten Längenmeßverfahren. Bei der Additionsmethode (Abb. 4) – eine von vielen möglichen Meßanordnungen – ordnet man beidseitig versilberte Planspiegel S_1-S_2-S_3-S_4 in möglichst gleichen Abständen an. Der Abstand wird mittels eines aus Quarzgut und Quarzglas gefertigten Normalmeters mit sphärischen Endflächen unter Zuhilfenahme der Newtonschen Farbringe festgelegt. Sind S_1-S_2 und S_2-S_3 bis auf einige Wellenlängen des benutzten (weißen) Lichtes gleich, dann entsteht in der Brennebene O_2 die bekannte Fraunhofersche Interferenzerscheinung. Ebenso kann erreicht werden, daß S_3-S_4 = S_2-S_3 ist. Größere Längen (bis zu mehreren hundert Metern, können durch Wiederholung der Additionsmethode oder nach der ähnlich arbeitenden Multiplikationsmethode mit einer Genauigkeit von wenigen μm (1/1 000 mm) gemessen werden.

Da mittels Längen- oder Streckenmessungen (einschließlich Winkelmessungen) im allgemeinen die ebene, horizontale Lage von Punkten im Koordinatensystem x, y festgelegt wird, bezeichnet man diese verschiedentlich auch als „Lagemessungen", während die Bestimmung der Koordinate z mit Hilfe von „Höhenmessungen" erfolgt. Unter der Höhe bzw. Tiefe eines Punktes versteht man zunächst ganz allgemein die Länge der Abbildungslinie, die den Bildpunkt P' mit dem über bzw. unter der Bezugsfläche (Geoid) liegenden ursprünglichen Punkt P verbindet (Abb. 5). Man kann unterscheiden: barometrische Höhenmessung, trigonometrische Höhenmessung und Höhenmessung mittels Nivellement. Bei der *barometrischen Höhenmessung* wird der Unterschied von zwei Punkten dadurch bestimmt, daß man in ihnen den Luftdruck mittels Barometer oder Siedethermometer mißt (mittlerer Höhenfehler in der Regel ± 1–2 m). Bei der *trigonometrischen Höhenmessung* sind der Höhen- oder Tiefenwinkel α und die Entfernung e zu bestimmen; außerdem wird bei e größer als 200–300 m Erdkrümmung und Strahlenbrechung (Refraktion) berücksichtigt (Abb. 6). Letztere ist abhängig von Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und der durch diese bestimmten Luftdichte. In Deutschland wird als Refraktionskoeffizient im allgemeinen $k = 0{,}13$ benutzt. *Nivellements* (Abb. 7) lassen sich nach der Genauigkeit einteilen in Nivellements I. Ordnung (= Feinnivellements; mittlerer Höhenfehler m_h für 1 km Länge kleiner als ± 1 mm); Nivellements II. Ordnung (m_h = ± 20 mm) und Nivellements III. Ordnung (m_h > ± 20 mm).

Wird ein Punkt der Erdoberfläche auf die Geoidoberfläche abgebildet, so kann seine „Höhe" auch durch den Potentialunterschied der beiden Niveauflächen N_B und N_A gekennzeichnet werden, der (nach Division durch die Masseneinheit) als *geopotentielle Kote* c bezeichnet wird: $c = \int g\,dh$. Nivelliert man von $A \rightarrow B$ (Abb. 8), so wird nicht

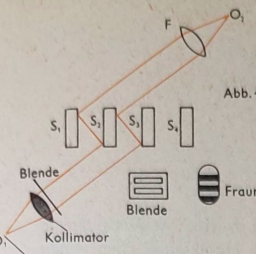


Abb. 4 Längenmessung mittels Lichtinterferenzen (Additionsmethode)

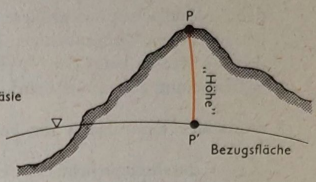


Abb. 5 Begriff der Höhe in der Geodäsie

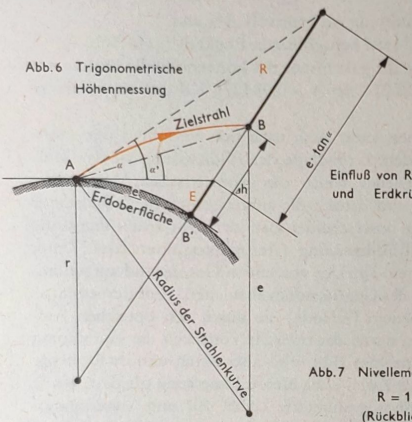


Abb. 6 Trigonometrische Höhenmessung

Einfluß von Refraktion und Erdkrümmung:

e	$\frac{e^2}{2r}(1-k)$
500 m	2 cm
2000 m	27 cm (k ≈ 0,13)

$$\Delta h = e \tan\alpha + \underbrace{\frac{e^2}{2r}}_{\text{Einfluß der Erdkrümmung}} - \underbrace{\frac{e^2}{2r}k}_{\text{Einfluß der Refraktion}} = e \tan\alpha + \frac{e^2}{2r}(1-k)$$

E R

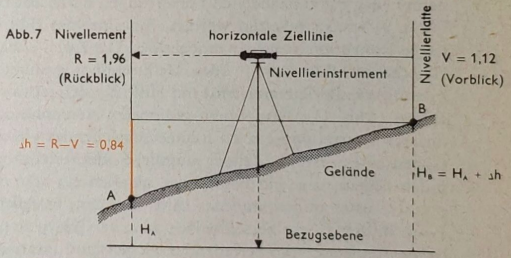


Abb. 7 Nivellement

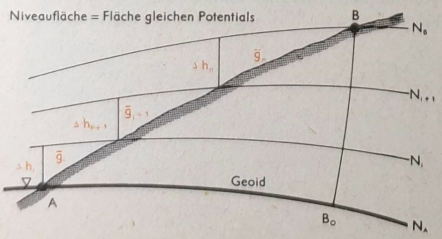


Abb. 8 Bestimmung der geopotentiellen Kote

die Höhe $B\text{-}B_0$ erhalten, sondern ein davon abweichender Wert, da die Abstandsänderung der Niveauflächen auf größere Entfernung und bei größerem Höhenunterschied einen beträchtlichen Wert annehmen kann. Diese läßt sich jedoch berücksichtigen, wenn außer den Δh-Werten längs der Nivellementslinie zusätzlich noch der Verlauf der Schwerebeschleunigung g gemessen wird. Die Summation der einzelnen Werte ergibt dann mit gewünschter Genauigkeit die geopotentielle Kote $c = \sum_{i=1}^{n} \overline{g_i}$ [Kilogal] Δh_i [m], wobei

$\overline{g_i}$ = durchschnittliche Schwerebeschleunigung im Intervall Δh_i und
Δh_i = nivellierter Höhenunterschied von zwei benachbarten Punkten (vgl. Abb. 7).

Bezugssystem aller beobachteten Erdwerte für g ist bisher das konventionelle System von Potsdam, wobei als Wert für $g_{0\text{Pot}} = 9{,}81274\ \text{ms}^{-2} = 0{,}981274$ Kilogal angenommen wird.

Die Bestimmung von Strecken und Höhen kann auch nach den Verfahren der *Photogrammetrie* (Bildmessung) ausgeführt werden. Grundlage der Bildmessung ist das Meßbild. Aus diesem lassen sich in verschiedener Weise die geometrischen Verhältnisse während der Aufnahme wiederherstellen und danach die aufgenommenen Gegenstände vermessen. Je nach dem Bildaufnahmeort unterscheidet man zwischen Erdbildmessung (terrestrische Photogrammetrie) und Luftbildmessung (Aerophotogrammetrie). Unter gewissen Voraussetzungen genügt bereits ein einziges von einem Gegenstand aufgenommenes Meßbild, um daraus Abmessungen des Gegenstandes abzuleiten (Einbildmessung). Beispielsweise können (vor allem bei ebenem Gelände) die durch den optischen Aufnahmevorgang entstandenen Verzerrungen durch das optische Verfahren der Entzerrung (Abb. 9) wieder beseitigt werden. Ein einzelnes Bild wird also durch unmittelbare optische Projektion projektiv umgebildet. Die Zwei- oder Mehrbildmessung gliedert sich in Einschneidebildmessung oder Meßtischphotogrammetrie (Abb. 10) und Stereophotogrammetrie. Bei letzterer wird mit Hilfe der sich (etwa zu 60 oder mehr %) überdeckenden Bilder (Abb. 11a) und einem geeigneten stereophotogrammetrischen Auswertegerät in unserer Vorstellung ein im Raume schwebendes virtuelles Modell des aufgenommenen Gegenstandes erzeugt. Dieser räumliche oder stereoskopische Eindruck kommt zustande, indem jedem Auge ein besonderes, nämlich ein vom Standpunkt 1 und ein vom Standpunkt 2 usw. aufgenommenes Bild von dem betreffenden Gegenstand zugeführt wird. Beide Bildeindrücke verschmelzen dann im Gehirn zu einem Gesamteindruck, dem räumlichen Eindruck vom betreffenden Gegenstand (Stereoeffekt; Abb. 11b). Wird beim Betrachten der Bilder zusätzlich noch eine bewegbare Meßmarke in geeigneter Form eingeführt, dann kann das virtuelle Modell sowohl punkt- als auch linienweise (nach Koordinaten x, y, z) ausgemessen werden (Abb. 11c).

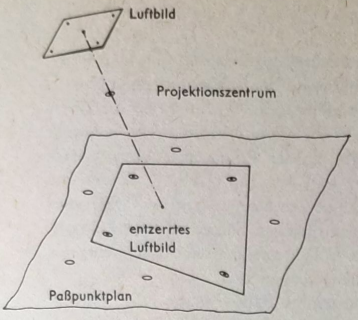
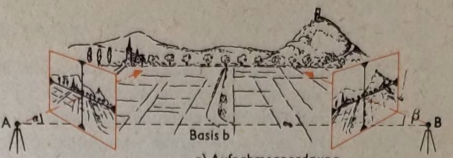
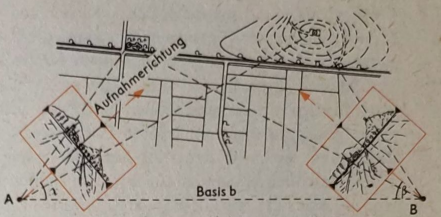


Abb. 9 Prinzip der Entzerrung



a) Aufnahmeanordnung



b) Auswertungsprinzip

Abb. 10 Meßtischphotogrammetrie (Einschneidebildmessung)

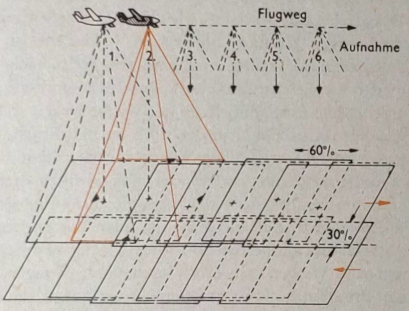


Abb. 11a Anordnung eines Reihenmeßfluges
(Längsüberdeckung 60%, Querüberdeckung 30%)

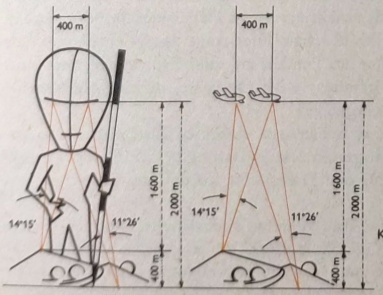


Abb. 11 b Stereoeffekt

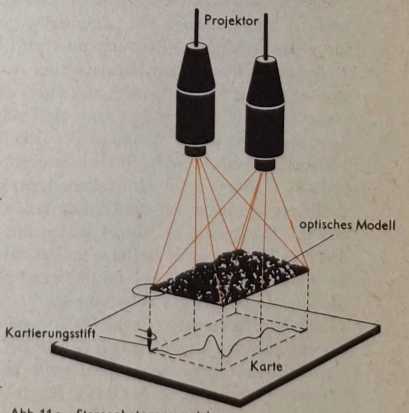


Abb. 11c Stereophotogrammetrie

WAAGEN

Die Kraft, mit der die Erde einen Körper anzieht, bezeichnet man als sein Gewicht. Diese Kraft ist der Masse (d. h. der Stoffmenge) des Körpers und der Schwerebeschleunigung proportional. Die Schwerebeschleunigung ist jedoch nicht an jedem Punkt der Erdoberfläche exakt gleich, sie nimmt vom Äquator zu den Polen hin ein wenig zu. So zeigt ein Körper, dessen Masse (Stoffmenge) stets gleich bleibt, an den Polen ein etwas größeres Gewicht als am Äquator. – Beim Wiegen mit einer Balkenwaage (Abb. 1) werden die Kräfte miteinander verglichen, mit denen die Erde die beiden Körper (auf der linken und rechten Waagschale) anzieht. Da diese Kräfte bei der gleichen Schwerebeschleunigung den Massen proportional sind, lassen sich mit einer Balkenwaage sowohl Gewichte als auch Massen mit entsprechenden Normalen (Einheiten) vergleichen.

Eine Waage in ihrer einfachsten Form ist die gleicharmige Balkenwaage (Abb. 1). Sie besteht aus einem in der Mitte auf einer Schneide drehbar gelagerten Waagebalken. Im Drehpunkt der Waage ist ein mit dem Balken fest verbundener Zeiger angebracht, die sog. Zunge, die bei Gleichgewicht senkrecht nach unten zeigt (Abb. 1a). Für das einwandfreie Funktionieren einer Waage ist es notwendig, daß der Schwerpunkt des Balkens tiefer als der Drehpunkt des Balkens liegt. Aus diesem Grunde ist an der Zunge eine in der Senkrechten verschiebbare Masse angebracht. Der Waagebalken ist im Gleichgewicht, wenn das linksdrehende Moment gleich dem rechtsdrehenden Moment (s. S. 580) ist, d.h., wenn Kraft × Kraftarm gleich Last × Lastarm ist. Da Lastarm und Kraftarm gleich lang sind, zeigt die Zunge nur dann senkrecht nach unten, wenn die auf der einen Seite liegenden Gewichtsstücke genau so schwer sind wie der zu wiegende Körper auf der anderen Seite. Die Empfindlichkeit der Waage ist um so geringer, je tiefer der Schwerpunkt des Waagebalkens liegt. Aus Abb. 1 b ist ersichtlich, daß bei tieferem Anbringen des Schiebegewichts bei derselben Waagebalkenstellung der Hebelarm des Schiebegewichtes von a auf b vergrößert würde. Der Waagebalken dreht sich, bis $b = a$ wird, was zu einer Verkleinerung des Ausschlags bei gleichem Übergewicht führt.

Da die gleicharmige Balkenwaage nur einen Gewichts- oder Massenvergleich zuläßt, benötigt man einen Gewichtssatz, der mindestens so schwer wie der zu wiegende Gegenstand ist. Deshalb benutzt man zum Wiegen schwerer Gegenstände Waagen, die verschieden lange Hebelarme besitzen. Bringt man die Gewichtsstücke am langen, die Last aber am kurzen Hebelarm an, so genügen Gewichtsstücke, die zur Last im umgekehrten Verhältnis wie die entsprechenden Hebelarme stehen (vgl. S. 298). Bei der Brückenwaage nach Abb. 2 macht das aufzulegende Gewichtsstück nur $^1/_{10}$ der aufgelegten Last aus, wenn $l = 10 \times a$ und das Verhältnis $a : b = c : d$ gemacht wird. Eine Wiegependelwaage (Abb. 3), die z. B. in Lebensmittelgeschäften verwendet wird, besitzt an Stelle der Waagschale der Brückenwaage ein Wiegependel. Bei Belastung der Brücke ist der Ausschlag des Wiegependels und des damit fest verbundenen Zeigers ein Maß für die aufgelegte Last. Zur Veränderung des Gewichtsbereiches kann ein Laufgewicht an einem Hebel verschoben werden. Eine Variation dieser Waage ist die Leuchtbildwaage. Hier trägt das Wiegependel eine kreisbogenförmige Skala, die bei Bewegung des Pendels an einer Projektionsoptik vorbeiläuft. Dadurch wird der Skalenteil, der gerade vor der Optik ist, auf eine Mattscheibe projiziert und dabei auf das Fünfzigfache vergrößert.

Bei der Briefwaage in Abb. 4 bilden die zwischen den einzelnen Drehpunkten angebrachten Stäbe in jeder Stellung ein Parallelogramm. Bei Belastung des Tellers vergrößert das Gewicht seinen Hebelarm in Bezug auf den Drehpunkt, so daß der Ausschlag ein Maß für die aufgelegte Belastung ist.

Ein anderer Waagentyp ist die Federwaage (Abb. 5), deren Federlängung von der Größe der angehängten Last abhängig ist, so daß die Skala direkt in Gewichtseinheiten geeicht werden kann. Federwaagen sind auch die im Haushalt verwendeten Personenwaagen, bei denen die Längung der Feder durch einen Zeiger auf eine in Gewichtseinheiten geeichte Skala übertragen wird (Abb. 6).

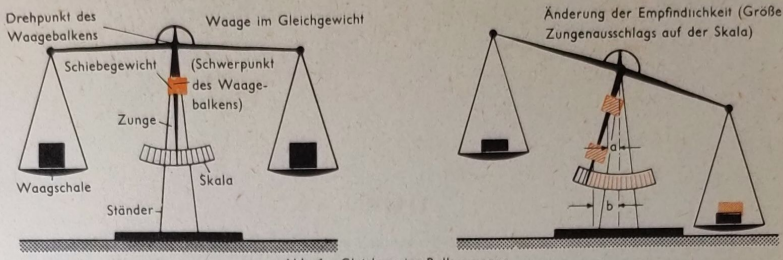


Abb. 1 Gleicharmige Balkenwaage

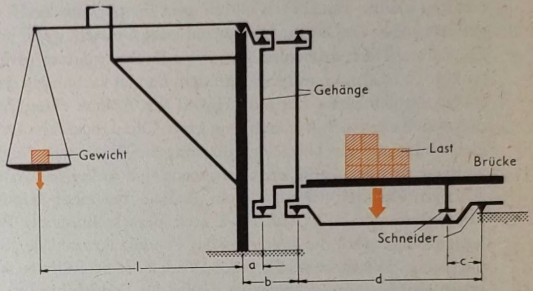


Abb. 2 Brückenwaage (Dezimalwaage)

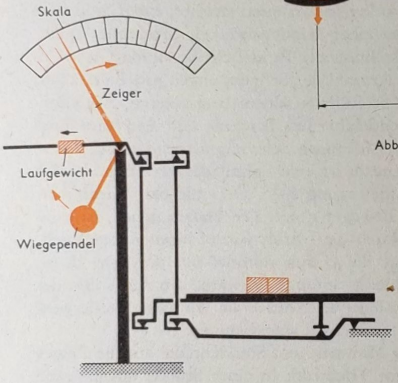


Abb. 3 Wiegependelwaage

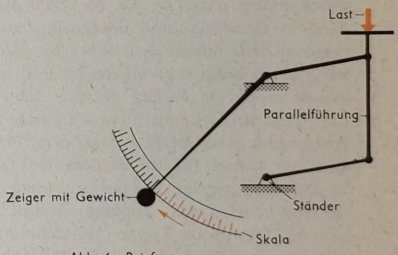


Abb. 4 Briefwaage

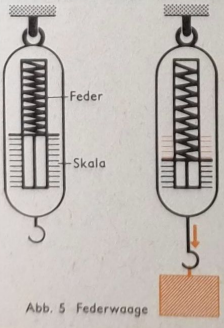


Abb. 5 Federwaage

Abb. 6
Federwaage als Kreiszeigerkopf

UHR

Uhren dienen der Zeitmessung. Jeder periodisch sich wiederholende Vorgang kann zur Zeitmessung benutzt werden, wenn die Periodendauer mit ausreichender Genauigkeit erhalten bleibt. Bei älteren Uhren wird die periodische Bewegung von einem Pendel ausgeführt (Abb. 1). Das die Uhr antreibende Gewicht greift am Umfang der Welle an, so daß das Zahnrad sich drehen müßte; diese Drehbewegung verhindert jedoch der blockierende Anker. Er ist direkt und starr mit dem Pendel verbunden. Hat dieses seinen weitesten Ausschlag erreicht, gibt der eine Haken des Ankers einen Zahn des Zahnrades frei, so daß dieses sich ein Stück weiterdrehen kann. Diese ruckweise Drehbewegung wird über andere Zahnräder auf die Uhrzeiger übertragen. Damit das Pendel trotz der Reibungsverluste weiterschwingen kann, erhält es, wenn der Anker das Zahnrad freigibt, einen Stoß vom Antrieb (Zahnrad), ähnlich dem Anstoß bei einer Kinderschaukel, die immer gleich weit schwingen soll (Abb. 2). Durch Verschiebung der Pendelscheibe entlang der Aufhängestange wird die Frequenz des Pendels (Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit) verändert. Abwärtsschieben der Pendelscheibe führt zu einem langsameren, Aufwärtsschieben zu einem schnelleren Gang der Pendeluhr. Bei Taschen- und Armbanduhren wird die Funktion des Pendels von einer kreisförmigen Schwungmasse, der sog. *Unruh* übernommen (Abb. 3). An der Welle der Unruh ist eine Spiralfeder befestigt, die den Ring in einer hin- und herschwingenden Bewegung hält. Der mit der Unruh verbundene Stift nimmt den Anker bei jeder Bewegung mit. Die Haken geben dann jeweils einen Zahn des Ankerrades frei, wodurch die Unruh wieder einen neuen Drehimpuls empfängt. In der Sekunde schwingt die Unruh fünfmal hin und her, d. h., der Sekundenzeiger macht pro Sekunde 5 kleine Sprünge vorwärts. An der Welle des Ankerrades greift die Federkraft der Aufzugsfeder als Antrieb an. An dieser Stelle wird auch der Antrieb für das Minuten- und das Stundenrad abgenommen.

In Abb. 4 ist gezeigt, wie die Bewegung der Minuten- und Stundenräder auf die Zeiger übertragen wird. Das Minutenrad wird vom Triebwerk in einer Stunde einmal ganz gedreht. Der große Zeiger (Minutenzeiger), der fest auf seiner Achse sitzt, dreht sich mit. Über das Wechselrad und den Wechseltrieb wird das Stundenrad dabei nur um ein Zwölftel seines Umfangs weitergedreht (Anzahl der Zähne der Räder); der kleine Zeiger bewegt sich somit ebenfalls nur um ein Zwölftel einer Umdrehung. Diese Bewegung erscheint auf dem Zifferblatt als Wanderung des kleinen Zeigers von einer Stundenziffer zur nächsten.

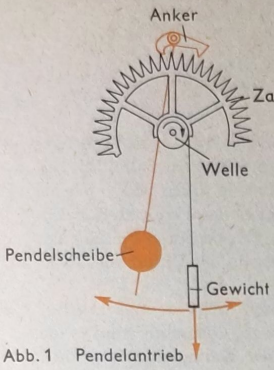
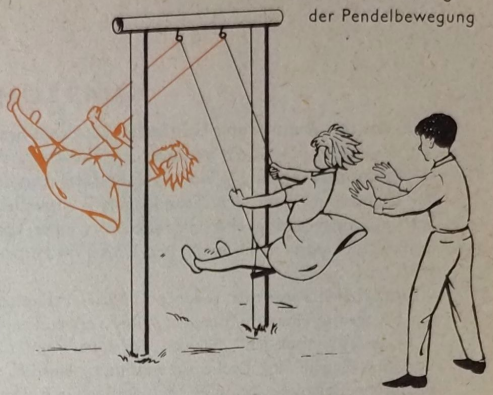


Abb. 1 Pendelantrieb

Abb. 2 Anstoß zur Aufrechterhaltung der Pendelbewegung



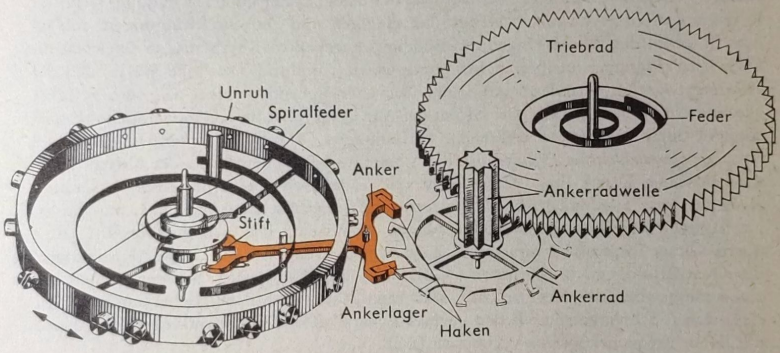


Abb. 3 Antriebssystem einer Taschen- oder Armbanduhr

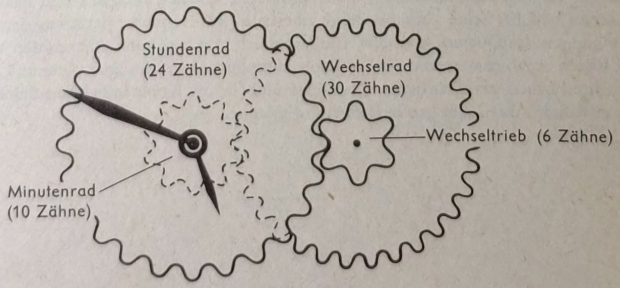


Abb. 4 Übertragung der Bewegung der Minuten- und Stundenräder auf die Zeiger

QUARZUHR

Jede Art der Zeitmessung besteht im Vergleich des Ablaufs eines beliebigen Vorganges mit dem eines periodisch verlaufenden Prozesses, sei es im primitivsten Falle der Vergleich mit dem Auslaufen eines Gefäßes, das man dann regelmäßig füllen oder – wie bei der Eiersanduhr bzw. dem Stundenglas – umdrehen muß, sei es der Vergleich mit dem Schwingungsvorgang eines Pendels bzw. einer Spiralfeder, wie sie zur Steuerung des Zeitablaufes unserer mechanischen Uhren im Perpendikel bzw. in der Unruh verwendet wird (vgl. S. 250).

Grundsätzlich kann man jeden periodisch verlaufenden Prozeß (Schwingungsvorgang) zur Steuerung eines Zeitmessers (Uhr) verwenden. Bei der sog. „Quarzuhr" sind es die „Dickenschwingungen", welche der Quarz unter besonderen Bedingungen ausführt. Um den Begriff der Dickenschwingung plausibel zu machen, kann man an ein ganz primitives Beispiel anknüpfen: Schlägt man mit einem Löffel auf einen Pudding (Abb. 1), so beginnt er zu „schwabbeln". Diese Bewegungen sind Dickenschwingungen. Schlägt man in einem den Abmessungen des Puddings angepaßten Rhythmus, so erreichen die Dickenschwingungen in ihrer Schwingungsweite (Amplitude) so hohe Werte, daß der Pudding sogar auseinanderfliegen kann. Den entsprechenden Effekt zeigt ein geeignet geschnittener Quarzkristall. Nur erfolgt die Anregung nicht mittels mechanischer Stöße, sondern durch periodische elektrische Aufladungen (Abb. 2). Man bedient sich dabei des sog. *piezoelektrischen Effektes*, der darin besteht, daß sich einerseits der Kristall unter mechanischem Druck bzw. Zug auflädt und andererseits bei elektrischer Aufladung ausdehnt bzw. zusammenzieht. Diese letztere Eigenschaft nützt man aus, um ihn zu mechanisch-elastischen Dickenschwingungen anzuregen. Die Schwingungszahl (Frequenz) dieser Dickenschwingungen kann in weiten Grenzen – durch die Abmessungen des Quarzkristalls allein bestimmt – willkürlich gewählt werden. Sie weist dann aber eine außergewöhnliche Konstanz auf. Man kann daher durch Parallelschaltung zu einem elektrischen Schwingungskreis den „Schwingquarz" als äußerst zuverlässigen Regulator mit hoher Frequenzkonstanz verwenden (Abb. 3).

Die Quarzuhr besteht dann im Prinzip aus einem Röhren- (Abb. 4) oder Transistorsender (vgl. S. 102), dessen Schwingungskreis durch einen Quarz gesteuert wird. Am Ausgang A (Abb. 4) erhält man dann eine Wechselspannung hoher Frequenzkonstanz. Durch Frequenzuntersetzungsschaltungen oder über einen Hochfrequenzmotor läßt sich damit ein Uhrwerk normaler Bauart antreiben, welches nunmehr sehr exakte Zeitmessungen erlaubt. Seine Angaben sind innerhalb der Frequenztoleranzen der Dickenschwingungen des Quarzes konstant. Ein Vergleich von mehreren Quarzuhren verschiedener Bauart ergab nach monatelangen Beobachtungen Abweichungen von nur 1/10000 s. Quarzuhren haben im öffentlichen Zeitdienst und für die Konstanthaltung der Frequenzen von Rundfunksendern große Bedeutung erlangt.

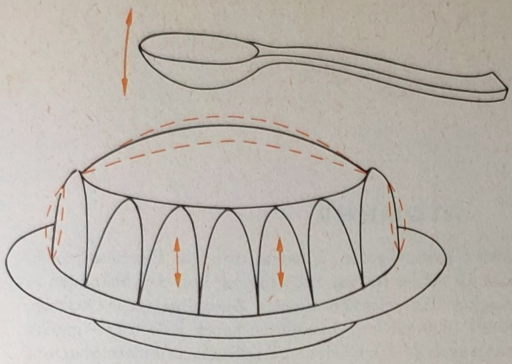


Abb. 1

Dickenschwingungen einer elastischen Substanz

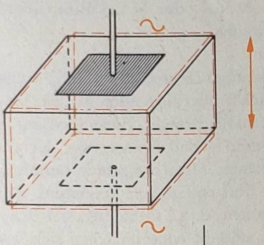


Abb. 2

Dickenschwingungen eines Quarzkristalles unter dem Einfluß einer Wechselspannung (Schwingquarz)

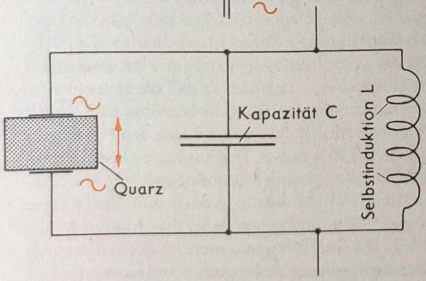


Abb. 3

Steuerung eines elektrischen Schwingkreises (L, C) mittels eines Schwingquarzes auf konstante Frequenz

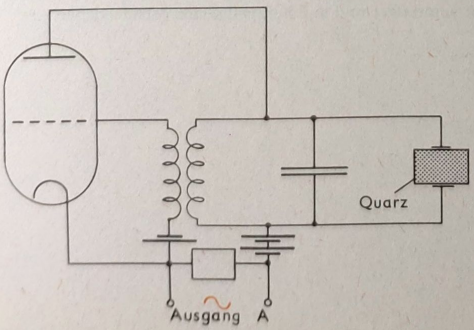


Abb. 4 Prinzip der Quarzuhr:

Die Frequenz der elektromagnetischen Schwingungen eines Senders wird durch einen Schwingquarz konstant gehalten

ATOMUHR

Die Atomuhr ist z. Z. das genaueste Zeitmeßgerät. Während man mit Präzisionspendeluhren eine Genauigkeit von etwa 10^{-7} (das ist eine Schwankung von drei Sekunden im Jahr) erreicht hat, ist die Genauigkeit des meist verwendeten Zeitnormals, der Quarzuhr (s. S. 252), um den Faktor 100 bis 1000 größer. Quarzuhren haben jedoch den großen Nachteil, daß sich im Laufe einer langen Zeit ihre Schwingungsfrequenz ändert. Man muß also ihre Frequenz von Zeit zu Zeit kontrollieren bzw. neu einstellen. Das geschieht mit Hilfe der Atomuhren, bei denen Molekülschwingungen die Frequenz bestimmen, die zeitlich konstant bleibt. Die Genauigkeit der Atom- oder Moleküluhr liegt heute noch etwa um den Faktor 10 höher als die der Quarzuhr.

Das Arbeitsprinzip der Ammoniakmoleküluhr:

In eine Düse (links in der Abb. 1) wird gasförmiges Ammoniak (NH_3) eingeleitet. Von den vor der Düse in allen Richtungen willkürlich umherfliegenden Molekülen sondert die Düse, die aus vielen parallelen, sehr feinen Kanälen besteht, diejenigen aus, die zufällig nach rechts fliegen. Diese Moleküle geraten nun in den Fokussator, der aus mehreren (meistens vier) mit hohen Spannungen geladenen Metallzylindern besteht. Unter den NH_3-Molekülen gibt es solche mit größerem und andere mit kleinerem Energieinhalt. Beide Arten besitzen ein elektrisches Dipolmoment, d. h., sie richten sich aus, wenn man sie in ein elektrisches Feld bringt, und zwar so, daß die energiereichen sich *gegen* die Feldrichtung stellen, die energiearmen *in* die Feldrichtung. Diese Eigenschaften des NH_3-Moleküls machen es möglich, mit Hilfe des stark inhomogenen Feldes im Fokussator die energiereichen von den energiearmen Molekülen zu trennen, so daß die ersteren vom Feld in die Richtung der Strahlachse (Zentralbereich) gedrängt, die letzteren nach außen abgetrieben werden (Abb. 2). Die energiereichen Moleküle werden durch den Fokussator gesammelt und in einen Hohlraumresonator (s. S. 100) geleitet. Der Resonator ist ein metallener Kasten, in dem sich mit Hilfe einer Rückkopplungseinrichtung eine stehende Hochfrequenzwelle ausbilden kann. Die energiereichen NH_3-Moleküle geraten nun, durch diese Welle angeregt, in Schwingungen von etwa 24 GHz und geben dabei ihre Energie an die Welle ab, die dadurch aufgeschaukelt wird. Die Hochfrequenzenergie, deren Frequenz wegen der sehr scharfen Molekülschwingungsresonanz recht genau konstant ist, wird dann in Frequenzuntersetzerstufen verarbeitet und auf Zeitmeßgeräte verschiedener Art weitergegeben.

Abb. 1 Gesamtschema der Atomuhr (Blick senkrecht zum Molekülstrahl)

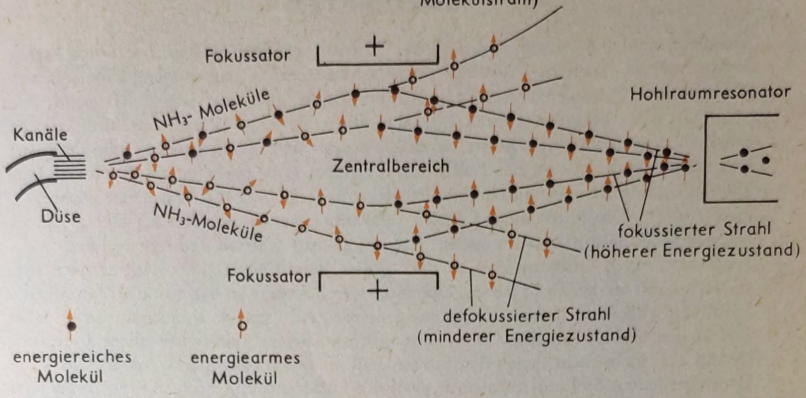
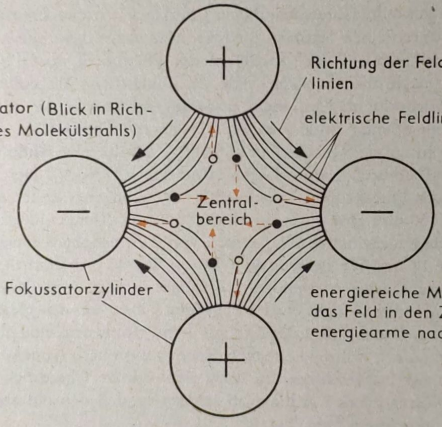


Abb. 2 Fokussator (Blick in Richtung des Molekülstrahls)



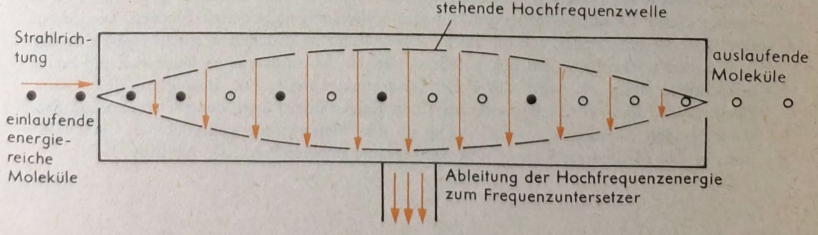


Abb. 3 Hohlraumresonator

BAROMETER

Barometer sind Geräte zur Messung des Luftdruckes. Der mittlere Luftdruck beträgt in Meereshöhe (je nach Wetterlage etwas schwankend) 1 Atmosphäre, d. h., auf eine Fläche von 1 Quadratzentimeter Querschnitt drückt eine Last von 1 Kilopond. Dies entspricht einer konstant dichten Luftsäule von etwa 8 km Höhe (tatsächlich ist diese Luftsäule noch beträchtlich höher, da die Dichte der Luft mit steigender Höhe abnimmt). Das erklärt auch, warum der Luftdruck auf einem Berg geringer ist. Wenn der Berg 3000 m hoch ist, so lastet nur eine Luftsäule von 5 km Höhe (bei konstanter Dichte) auf ihm (Abb. 1). Die auftretenden leichten Schwankungen um den von der Höhenlage abhängigen Normalwert werden in der Meteorologie zur Wettervorhersage benutzt.

Preßt man einen Gummisauger an eine glatte Wand (Abb. 2), so wird er nach dem Loslassen fest an der Wand haften. Durch das flache Anpressen hat man die Luft aus dem Hohlraum an der Innenseite herausgepreßt und einen luftleeren und daher drucklosen Raum geschaffen. Der ursprünglich in diesem Raum vorhandene Luftdruck drückt also nicht mehr gegen den Sauger. Läßt man den Sauger jetzt los, so wird er in der angepreßten Stellung verbleiben, weil der Luftdruck nur noch auf die Außenseite drückt und dadurch die Ränder so fest anpreßt, daß keine Luft mehr in den Hohlraum eindringen kann. Dieser bleibt also luftleer. Der äußere Luftdruck hält den Sauger somit fest an die Wand gepreßt. Unterschiedlicher Luftdruck wird auch ausgenutzt, wenn man eine Flüssigkeit durch einen Strohhalm trinkt. Man saugt dabei die Luft aus dem Halm, und der Luftdruck, der auf der Oberfläche der Flüssigkeit im Glas lastet, kann diese durch den Halm nach oben drücken (Abb. 3). Taucht man ein vollständig mit Quecksilber gefülltes Glasrohr, das an einem Ende zugeschmolzen, am anderen Ende jedoch offen ist, mit dem offenen Ende senkrecht in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß, so wird aus dem Rohr so viel Quecksilber abfließen, daß nur eine Säule von 760 mm Höhe über der Quecksilberoberfläche im Gefäß übrig bleibt (Abb. 4). Der Luftdruck, der auf der Oberfläche des Quecksilbers im Gefäß lastet, kann also einer senkrechten Quecksilbersäule von 760 mm Höhe (die in einem Rohr mit 1 cm^2 Querschnitt 1033,2 Pond wiegt) das Gleichgewicht halten. Der Druck von 1 Atmosphäre entspricht also 760 mm Quecksilbersäule (1 mm Hg nennt man 1 Torr). Würde man statt des Quecksilbers das spezifisch leichtere Wasser verwenden, so müßte das Rohr mindestens 10,332 m lang sein, eine Luftsäule müßte sogar etwa 8 km Höhe haben, um den gleichen Druck auszuüben (Abb. 5). Den Druck von 1,0332 kp auf 1 cm^2 nennt man eine physikalische Atmosphäre (abgekürzt atm), während die technische Atmosphäre (abgekürzt at) dem Druck von genau 1 kp auf 1 cm^2 entspricht. Eine Atmosphäre Überdruck (abgekürzt 1 atü) heißt, daß zum Normaldruck 1 at hinzugekommen ist, daß also ein absoluter Druck von 2 Atmosphären (abgekürzt 2 ata) herrscht.

Aneroidbarometer (Abb. 6) bestehen aus einer Metalldose, die luftleer gepumpt ist. Die Böden dieser Dosen bestehen aus dünnen, wellenartig gebogenen Blechen. Im Innern der Dose ist eine Feder, die die Böden auseinander zu drücken versucht, soweit es der von außen wirkende Luftdruck zuläßt. Sinkt der Außendruck, so kann sich die Feder ausdehnen, steigt er, wird die Feder zusammengepreßt. Die Bewegung des oberen Bodens wird über ein Hebelwerk auf einen Zeiger übertragen, der auf einer Skala den herrschenden Luftdruck anzeigt. – Die in der Wetterkunde gebräuchliche Druckeinheit ist das Millibar: 750 mm Quecksilbersäule entsprechen 1000 Millibar.

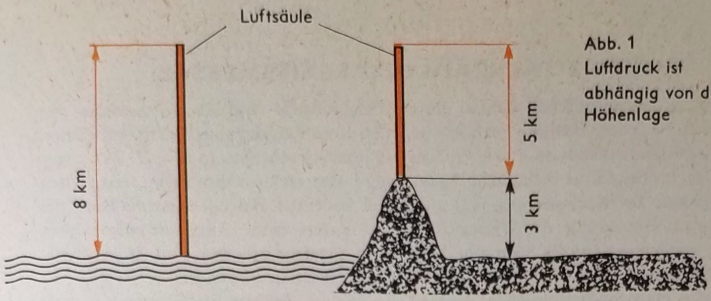


Abb. 1
Luftdruck ist abhängig von der Höhenlage

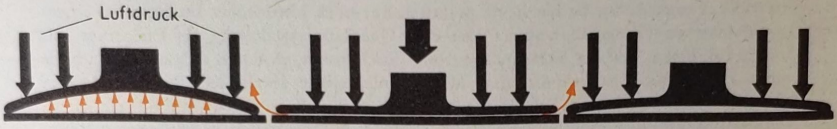


Abb. 2 Anpressen eines Gummisaugers an die Wand

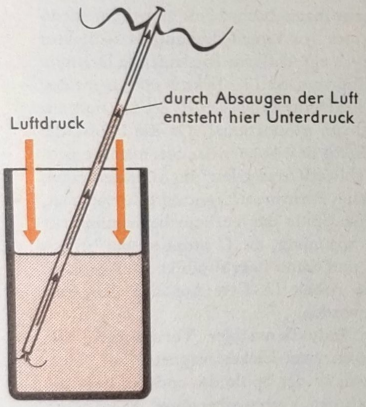


Abb. 3

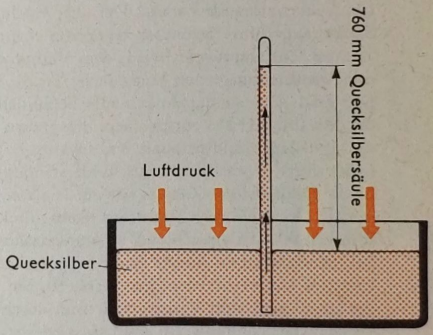


Abb. 4 Prinzip des Quecksilberbarometers

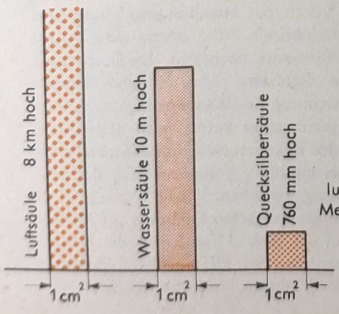


Abb. 5

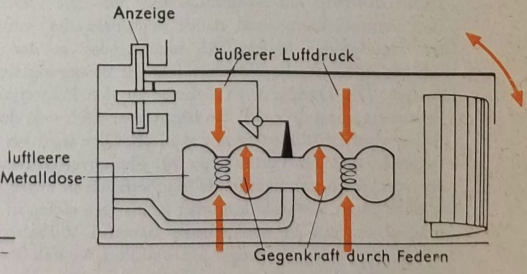


Abb. 6 Aneroidbarometer

ELEKTRIZITÄTSZÄHLER (ARBEITSMESSER)

Zur Messung der elektrischen Arbeit, die wir für Industrie- und Haushaltszwecke von Kraftwerken beziehen, benötigt man zur genauen Rechnungslegung Elektrizitätszähler. Die Arbeit bei Gleichstrom ist $A = U \cdot I \cdot t$, bei Einphasenwechselstrom $A = U \cdot I \cdot t \cdot \cos\varphi$ (vgl. S. 98), wobei U die elektrische Spannung, I den elektrischen Strom, $\cos\varphi$ den Leistungsfaktor bei Wechselstrom und t die Zeit bedeuten. Bei Gleichstrom kann die Arbeit durch Ermittlung des Wertes $I \cdot t$, d.h. mittels eines Amperestundenzählers bestimmt werden, sofern die Spannung U im Netz konstant gehalten wird. In Wechsel- und Drehstromnetzen werden jedoch nur Wattstundenzähler verwendet.

Abb. 1 zeigt einen elektrolytischen Zähler (Stia-Zähler), der nur für Gleichstrom verwendet werden kann. Er hat heute praktisch nur noch historisches Interesse. In einem geschlossenen Glasgefäß befindet sich eine Quecksilbersalzlösung als Elektrolyt. Sie wird von einem Teil des Verbraucherstroms durchflossen, wodurch sich an der Kathode eine der Größe $I \cdot t$ proportionale Menge Quecksilber abscheidet. Das Quecksilber sammelt sich im unteren Teil des Gefäßes. Die Meßskala ist direkt in kWh eingeteilt. Nach Lösung einer Plombe kann das abgeschiedene Quecksilber in den oberen Raum zurückgebracht werden.

Abb. 2 zeigt einen Amperestunden-Motorzähler, der einen kleinen Gleichstrommotor darstellt. Der scheibenförmige Aluminiumanker, der im magnetischen Feld eines Permanentmagneten liegt, enthält drei Spulen, die ihren Strom von einem dreiteiligen Kollektor erhalten. Dieser Kollektor stellt die Stromrichtung so ein, daß eine fortlaufende Drehung des Ankers zustande kommt. Der über Edelmetallbürsten dem Kollektor und damit den Spulen zugeführte Strom ist, da er von einem Reihenwiderstand R im Verbraucherkreis (s. Abb. 2b) abgezweigt wird, dem Verbraucherstrom proportional. Da die Feldstärke des Permanentmagneten konstant ist, ist die Drehzahl des Ankers der Stromstärke proportional. Das an der Ankerwelle befindliche Zählwerk registriert die Umdrehungen, die dem Produkt $I \cdot t$ entsprechen. Bringt man statt des Permanentmagneten eine Spule an, die das Magnetfeld erzeugt, und legt man an diese Spule die Verbraucherspannung U (oder durch Vorschalten eines Widerstandes eine Spannung, die U proportional ist), so ist die Drehzahl des Zählers sowohl U als auch I und damit dem Produkt $U \cdot I$ proportional. Das Zählwerk registriert dann direkt die Arbeit $U \cdot I \cdot t$. Aus dem Amperestundenzähler ist ein echter Wattstundenzähler geworden.

Bei Wechselstrom finden heute allgemein sog. Induktionszähler Verwendung, die keinerlei Kollektor benötigen (Abb. 3). Sie besitzen zwei Elektromagnete. Die Spule des einen wird vom Verbraucherstrom durchflossen, an der Spule des anderen liegt die Verbraucherspannung. Im ersteren wird also durch den Verbraucher*strom*, im letzteren durch die Verbraucher*spannung* ein Kraftfluß erzeugt. Liegen beim Verbraucher Strom und Spannung in Phase (s. S. 98), so wird der Strom der Spannungswicklung und damit das Feld des Spannungseisens um eine Viertelperiode (90°) hinter dem Strom der Stromwicklung und damit dem Feld des Stromeisens nacheilen. Dadurch wird ein wanderndes Magnetfeld erzeugt, das in der drehbaren Metallscheibe Wirbelströme induziert, die die Scheibe in der Bewegungsrichtung des Wanderfeldes zu drehen suchen. Die Drehzahl der Scheibe ist den Feldstärken beider Felder, also Strom und Spannung, proportional. Sie hängt aber auch von der Phasenverschiebung beider (und damit vom Leistungsfaktor $\cos\varphi$) ab. Dies wird verständlich, wenn man sich den Fall vorstellt, daß der Verbraucher 90° Phasenverschiebung zwischen U und I ($\cos\varphi = 0$) bewirkt; dann kommen beide Magnetfelder in Phase, so daß keine Drehung der Metallscheibe mehr zustande kommen kann. Der rechts in der Abb. 3 eingezeichnete Bremsmagnet erzeugt in der Scheibe dauernd Wirbelströme, die die Scheibenbewegung dämpfen und den sofortigen Stillstand bei Wegfall des Verbraucherstroms sichern.

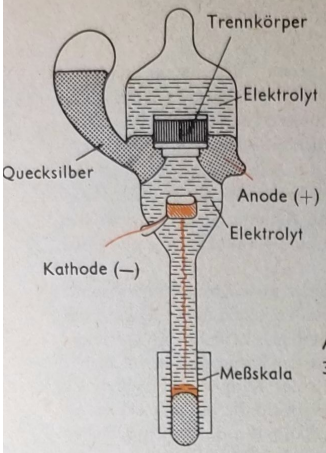


Abb. 1 Elektrolytischer Zähler

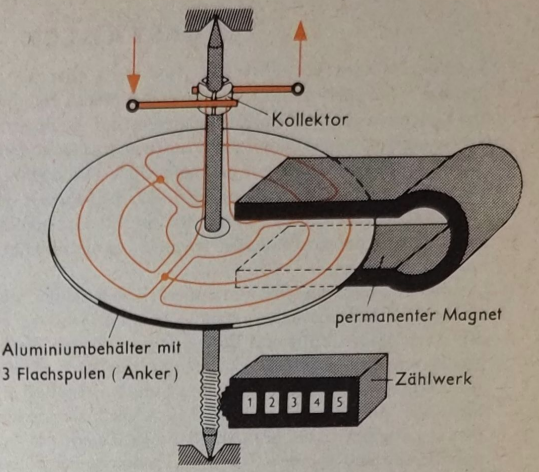


Abb. 2a Magnetmotorzähler schematisch

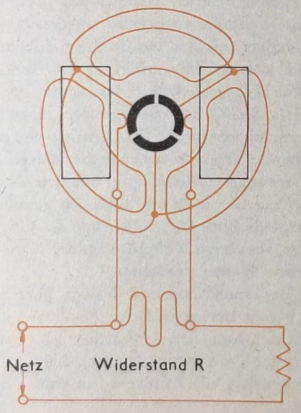


Abb. 2b Schaltplan eines Magnetmotorzählers

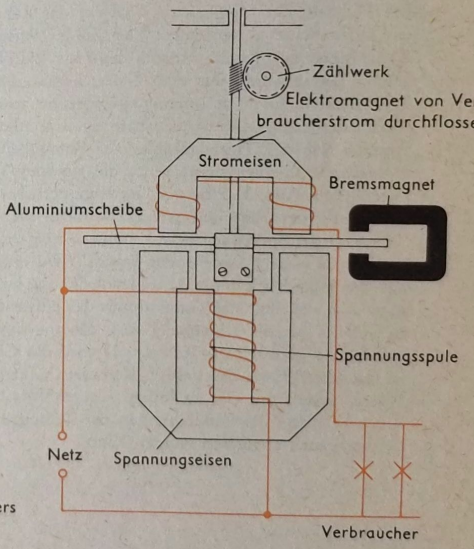


Abb. 3 Induktionszähler

GASZÄHLER

Gaszähler werden entweder als „trockene" oder als „nasse" Systeme gebaut. Der „*trockene*" *Gaszähler* besteht aus zwei Kammern mit bekanntem Volumen, die durch eine Ledermembran voneinander getrennt sind. Beide Kammern haben Ein- und Auslaßventile oder Schieber. Durch den Vordruck des Gases werden die Kammern wechselweise gefüllt, wobei die Membran gespannt wird. Das Spannen und Entlasten der Membran wird auf ein Hebelsystem übertragen, das die Schieber der Kammern steuert. Die Steuerung vollzieht sich in folgendem Rhythmus: Die gefüllte Kammer steuert jeweils den Mechanismus der zu füllenden Kammer, so daß immer eine Kammer gefüllt und die andere entleert wird.

Um den Gasfluß möglichst kontinuierlich zu gestalten, werden zwei Zweikammersysteme zu einer Einheit zusammengefaßt. Die Abb. 1a bis 1c verdeutlichen einige Phasen aus den wechselnden Füll- und Entleerungsvorgängen des Systems. In der Abb. 1a ist die Meßkammer Ia gefüllt. Kurz zuvor hat der Mechanismus der Kammer I den Schieber auf Füllung der Kammer IIb umgesteuert. Mit Füllung der Kammer IIb öffnet der Schieber a die Kammer Ib weiter. Er schließt sie wieder, sobald die Füllung der Kammer IIa beginnt (Abb. 1b). Abb. 1c zeigt Kammer Ib vollkommen durch den Schieber geschlossen und Kammer IIa in der Endphase der Füllung. In diesem Stadium beginnt das Entleeren der Kammer Ib; gleichzeitig hat die Membran über den Kurbeltrieb den Schieber a auf Füllen des Volumens Ia gestellt. Mit wachsender Füllung der Meßkammer Ia wird über Membran a der Schieber b so bewegt, daß sich Kammer IIa entleert und IIb füllt.

Die Hubzahl der Membranen wird auf das Zählwerk übertragen und ist ein Maß für das verbrauchte Gasvolumen. Der Zähler vermag auch kleinste Mengen mit großer Genauigkeit zu messen. Müssen mehr als 150 Hübe je Stunde ausgeführt werden (bei großer Gasentnahme aus dem Netz), nimmt die Meßgenauigkeit ab, da die Schieber dann nicht mehr schnell genug umgesteuert werden können. Im ganzen ist das Gerät störunempfindlich und wird deshalb fast ausschließlich als Hausgaszähler verwendet.

Ähnlich wie der Trommelzähler für Flüssigkeiten (s. S. 262) funktioniert der „*nasse*" *Gaszähler*. Allgemein wird heute die Crossley-Trommel verwandt; ihr Arbeitsprinzip verdeutlicht Abb. 2: Eine aus vier Kammern bestehende Trommel arbeitet mit Wasserabdeckung der Ein- und Austrittsschlitze oder Bohrungen. Wenn beim Drehen der Trommel das Sperrwasser die Kammern freigibt, strömt Gas nach und füllt den gerade aus dem Wasser auftauchenden Raum. Wird ein Auslaßschlitz frei, so strömt das Gas, das den Überdruck der Gaszuführungsleitung besitzt, aus; beim Weiterdrehen der Kammer wird der Rest des Gases durch das einströmende Wasser verdrängt.

In Abb. 2 ist die Kammer I des Zählers durch das nachdrängende Wasser gerade vollständig gefüllt. Aus Kammer II wird das Gas gerade herausgedrückt, Kammer III ist fast gänzlich mit Gas gefüllt, Kammer IV beginnt sich nach dem Auftauchen aus dem Wasser gerade mit Gas zu füllen. — Der Vorschub der Trommel wird durch den Gasdruck bewirkt; die Umdrehungen der Trommel registriert ein Zählwerk, an dem der Gasverbrauch abgelesen werden kann.

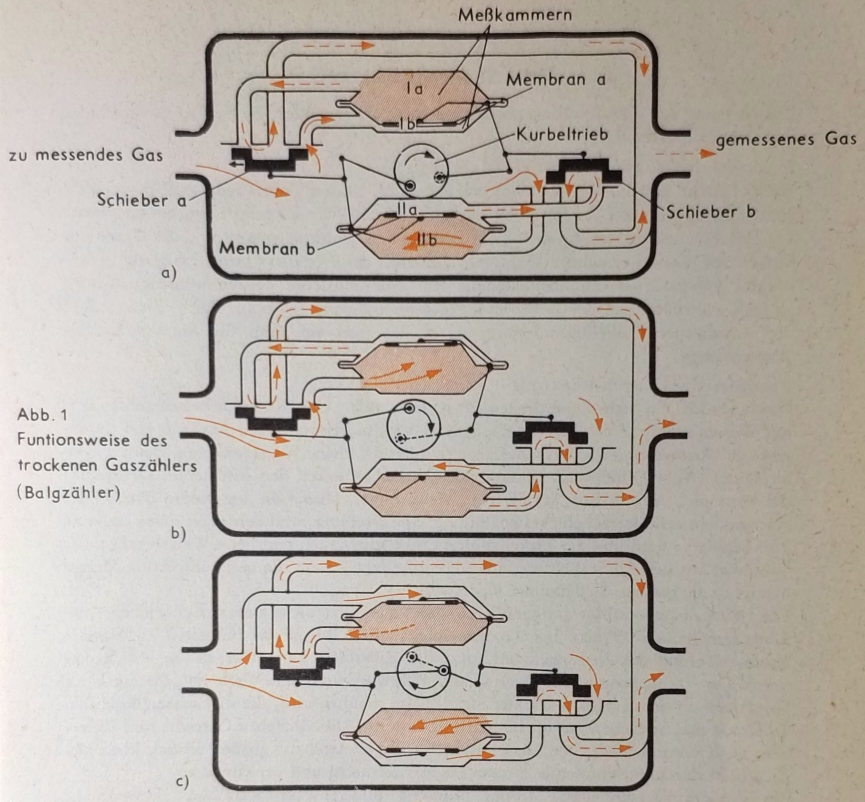


Abb. 1
Funtionsweise des trockenen Gaszählers (Balgzähler)

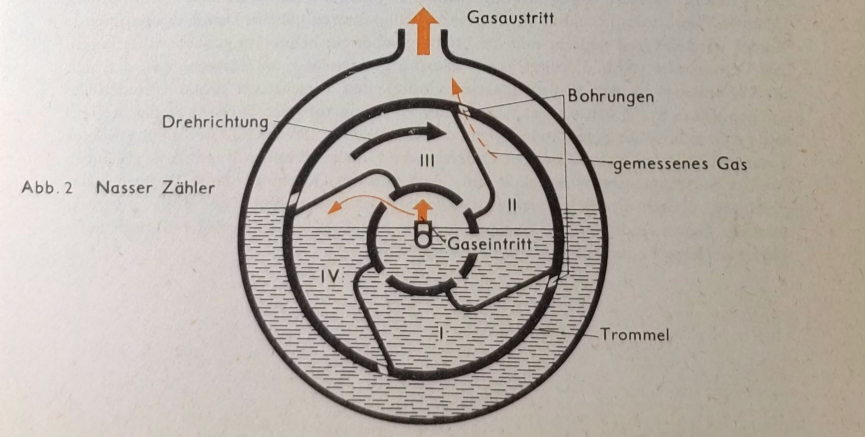


Abb. 2 Nasser Zähler

WASSERMESSUNG

Zur Messung des Wasserverbrauchs benutzt man Wasserzähler, die nach zwei verschiedenen Prinzipien arbeiten:

Prinzip der Geschwindigkeitsmessung

Hierbei dreht sich im Wasserstrom ein Propeller, dessen Umdrehungszahl in der Zeiteinheit gemessen wird. Zu einer bestimmten Drehzahl (U/min) gehört eine entsprechende Durchflußmenge Wasser (in m^3/s), die sich aus dem Rohrquerschnitt und der Geschwindigkeit des Wassers errechnet. Der Drehzahlmesser des Propellers kann also direkt in m^3/s geeicht werden (Kontinuitätsgleichung der Strömungslehre: Durchflußmenge in m^3/s = Rohrquerschnitt in m^2 × Strömungsgeschwindigkeit in m/s). Zählt man jedoch die Anzahl der Propellerumdrehungen, so hat man ein Maß für die verbrauchte Wassermenge.

Prinzip der Raummessung

Hierbei wird ein sich weiterdrehender Kolben oder eine Kammer bekannten Inhalts mit Wasser gefüllt. Auch hier ist die Anzahl der Umdrehungen ein Maß für die durchgesetzte Wassermenge; Raumzähler benutzt man für kleine Wassermengen. Beim Trommelzähler (Abb. 1) fließt die zu messende Flüssigkeit durch den Einlauf im Drehpunkt der Trommel zu und füllt jeweils eine Meßkammer. Durch die besondere Bauart der Kammer entsteht bei zunehmender Füllung eine Drehung, weil der linke, tiefer liegende Teil schwerer wird und die Trommel dreht. Die Flüssigkeit tritt beim Weiterdrehen der Trommel aus der Ausflußöffnung aus, aber erst dann, wenn die neu zufließende Menge bereits in die nächste Meßkammer fließt.

Für Haushaltwasserzähler werden Flügelradzähler benutzt, die in zwei verschiedenen Ausführungen gebaut werden. Bei Trockenläufern (Abb. 2) liegt das Flügelrad im Wasserstrom, während das Zeigerzählwerk und das Zifferblatt zum Ablesen im Trockenen sitzen. Die Verbindung vom Flügelrad zum Zählwerk stellt eine Welle her, die mit einer Stopfbüchse (vgl. S. 318) durch die Metallplatte geführt wird, die die wasserführenden Teile von den trockenen trennt. Bei den Naßläufern (Abb. 3) stehen Getriebe und Zifferblatt auch unter Wasser. Die Meßgenauigkeit der letzteren ist größer, jedoch kann das Zifferblatt durch verschmutztes Wasser leicht verkrusten und verschmieren.

Für größere Wassermengen in der Industrie finden Woltmannzähler Verwendung (Abb. 4). Hier ist das Flügelrad in ein gerades Rohrstück eingebaut. Durch das strömende Wasser wird das Rad gedreht und die Drehung über ein Schneckengetriebe übertragen.

Das Venturirohr (Abb. 5) nutzt zur Wassermengenmessung die Tatsache aus, daß sich bei verschieden großen Strömungsgeschwindigkeiten verschieden große Unterdrücke ergeben. Da es in der Mitte eine Querschnittsverengung aufweist, herrscht an der Stelle B eine größere Strömungsgeschwindigkeit als bei A oder A'. So entsteht bei B ein größerer Unterdruck als bei A (s. S. 10). Die Differenz der Drücke zwischen B und A ist abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit, also auch von der Durchflußmenge (Kontinuitätsgleichung). Durch die trichterartige Erweiterung des Rohres hinter der Rohrverengung wird die Geschwindigkeit des Wassers auf die vor A gebracht, so daß praktisch auch wieder derselbe Leitungsdruck wie vor A herrscht.

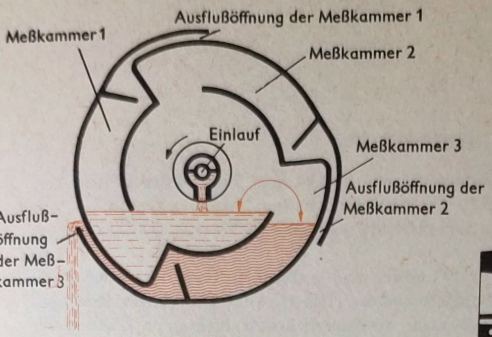


Abb. 1 Trommelzähler (Prinzip der Raummessung)

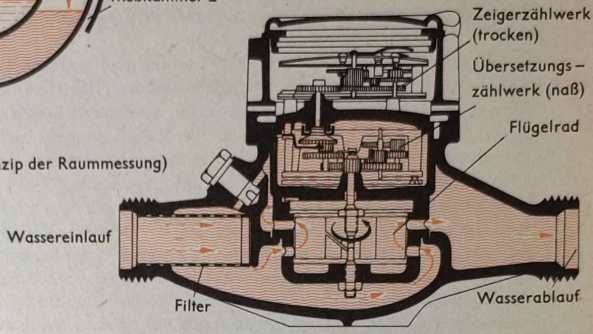


Abb. 2 Wasserzähler als Trockenläufer (Prinzip der Geschwindigkeitsmessung)

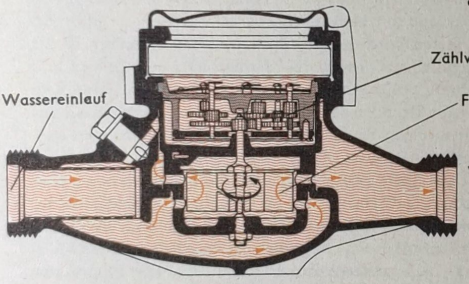


Abb. 3 Wasserzähler als Naßläufer (Prinzip der Geschwindigkeitsmessung)

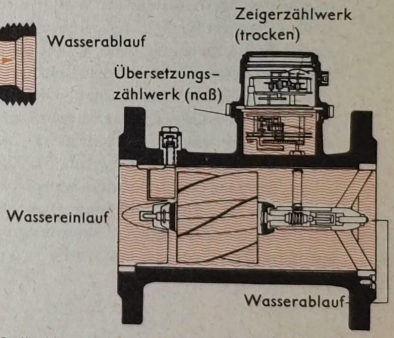


Abb. 4 Woltmannzähler (Prinzip der Geschwindigkeitsmessung)

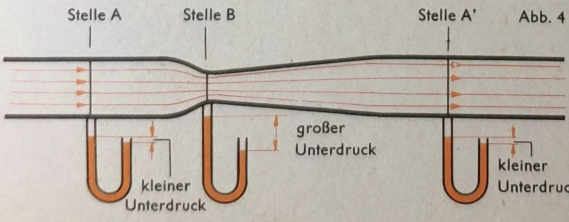


Abb. 5 Venturirohr

BRUNNEN

Brunnen sind Anlagen, die zur Entnahme von Trink- oder Nutzwasser dienen. Der Wasserbedarf wird in Deutschland zu 48% aus uferfiltriertem Grundwasser, zu 30% aus echtem Grundwasser, zu 14% aus Oberflächenwasser und zu 8% aus Quellwasser gedeckt.

Grundwasser wird mit Hilfe von waagerechten und senkrechten Fassungen oder durch Horizontalbrunnen gefördert. Oberflächenwasser (Regen) sammelt man in Zisternen (Abb. 6); Fluß-, Talsperren oder Seewasser wird durch Rohre abgepumpt. Quellwasser wird in Sicker- und Sammelgruben oder in Hangfassungen geleitet.

Grundwasser kann nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren (nach dem untereinander verbundene Röhren mit Wasser gefüllt gleichhohe Flüssigkeitsspiegel aufweisen) durch einen sog. artesischen Brunnen von selbst an die Oberfläche gedrückt werden, wenn die wasserführende Schicht zwischen zwei wasserundurchlässigen Schichten (z. B. Ton) eingelagert ist (Abb. 1). Waagerechte Fassungen werden bei geringer Stärke, Tiefenlage oder Durchlässigkeit der Grundwasserschicht verwendet. Sie sind meist erdbedeckte Stollen (Abb. 2) oder Drainrohre. Bei nicht zu flach liegendem stärkerem Grundwasservorkommen werden senkrechte Fassungen verwendet. Dabei werden für Tiefen von 5 bis 12 m Kesselbrunnen (Schachtbrunnen) bevorzugt (Durchmesser 1 bis 3 m), besonders da, wo große Wassermengen in einem Brunnen erfaßt werden können. Diese Brunnen sind von alters her bekannt; das Wasser wurde mit Hebeln oder Rollen in Eimern gefördert (heute mit Pumpen). Für größere Tiefen wird der Bohrbrunnen (Durchmesser 20 bis 50 cm) günstiger. Er besteht hauptsächlich aus Filterkorb, Mantelrohr, Brunnenkopf und Entnahmevorrichtung (Abb. 3). Mehrere Bohrbrunnen in einem Abstand von 10 bis 50 m ergeben eine Brunnengalerie, wobei die Brunnen an eine gemeinsame Heberleitung angeschlossen werden und das Wasser in einen Sammelbrunnen (als Kesselbrunnen ausgeführt) geleitet wird. Eine Kombination von waagerechten und senkrechten Brunnen ist der Horizontalbrunnen (Abb. 4), der aus einem Schachtbrunnen und mehreren horizontal liegenden Rohren (ähnlich den Bohrbrunnen) besteht. Somit entsteht eine Brunnenreihe ohne verbindende Heberleitung. Die Hebung des Grundwasserspiegels kann durch die Nähe eines Flusses gefördert werden, einmal durch das natürliche Durchsickern des Flußwassers (uferfiltriertes Grundwasser), zum anderen durch Infiltration von Flußwasser durch Versickerungsbecken (Abb. 5). Auch durch direktes Einpumpen von vorgereinigtem Rohwasser in den Grundwasserbereich läßt sich der Grundwasserspiegel erhöhen.

Quellwasserfassungen sind Sammelanlagen mit Zulauf- und Überlaufleitung. Eine genaue Kenntnis der anfallenden Wassermenge und der Zulaufgeschwindigkeit ist bei der Bemessung der Fassungen notwendig.

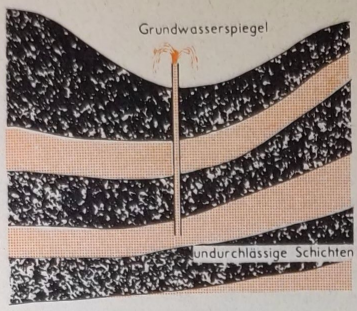


Abb. 1 Artesischer Brunnen

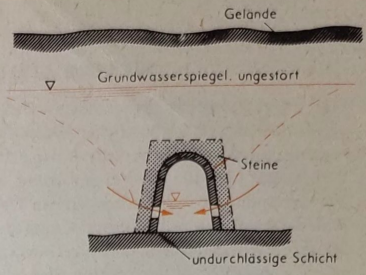


Abb. 2 Waagerechte Wasserfassung

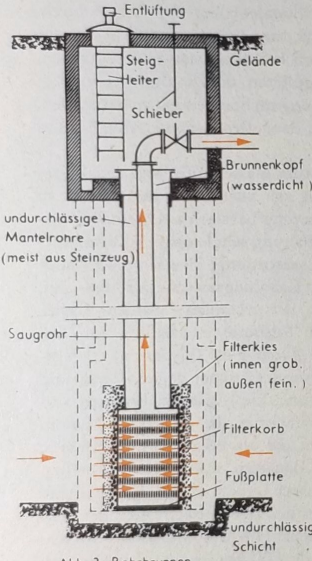


Abb. 3 Bohrbrunnen

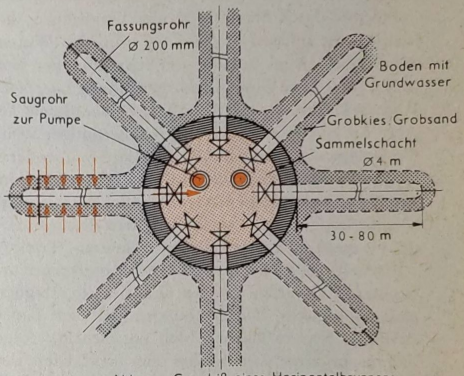


Abb. 4 Grundriß eines Horizontalbrunnens

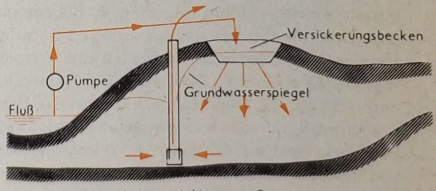


Abb. 5 Infiltriertes Grundwasser

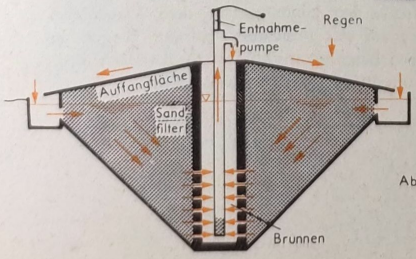


Abb. 6 Venezianische Zisterne

WEHRE UND TALSPERREN

Wehre und Talsperren dienen der Veränderung der Wasserspiegelhöhe und der Regelung von natürlichen oder künstlichen Wasserläufen. Die Hauptaufgabe der Wehre ist die Aufstauung, die der Talsperren die Aufspeicherung von Wasser.

Wehre sind u. a. für die Vergrößerung der Wassertiefe (z. B. für Schiffahrtswege), die Verringerung von Schwankungen der Wasserspiegelhöhe (z. B. bei Wasserentnahme für Wasserversorgung), die Verminderung der Wassergeschwindigkeit, die Aufspeicherung kleinerer Wassermengen und die Gewinnung von Gefälle von Bedeutung. Man unterscheidet zwischen festen Wehren und beweglichen Wehren (Abb. 1 und 2), die im allgemeinen unterströmt oder überflutet werden. Feste Wehre werden meist aus Beton hergestellt; sie müssen eine gefahrlose Abführung des Hochwassers gewährleisten. Bewegliche Wehre erlauben eine Regulierung des Oberwasserstandes oder der Wasserdurchflußmenge durch Staukörper oder Verschlüsse, die ganz oder teilweise entfernt werden können. Sie müssen in der Lage sein, den Wasserstrom bei Hochwasser freizugeben, den Wasserspiegel im Falle von Schwankungen einzuregulieren, die Eisabfuhr zu ermöglichen sowie eine Geschiebezurückhaltung oder Verlandung im Staubereich zu vermeiden. Während Abb. 1 und Abb. 2 zwei überflutete Wehre darstellen, zeigen Abb. 3a und Abb. 3b zwei Verschlußformen unterfluteter Wehre.

Stauanlagen mit einer Höhe von über 5 m über der Sohle des Wasserlaufes und einem Fassungsvermögen ab 100000 m^3 Wasser (bei Füllung bis zur Stauwerkkrone) zählen zu den Talsperren. Sie dienen vornehmlich der Wasserspeicherung bei stark wechselnder Wasserzuführung. Da sie aber in ihrer Herstellung und Unterhaltung sehr kostspielig sind, werden sie meist noch zur Energiegewinnung, Trinkwasserversorgung, Bewässerung (landwirtschaftliche Gebiete), zum Hochwasserschutz und für Erholungszwecke der Menschen benutzt. Talsperren müssen auf dichtem, tragfähigem Fels verankert werden. Daher sind geologische Untersuchungen vor dem Bau einer Talsperre unerläßlich, um den richtigen Typ zu wählen. Man unterscheidet folgende Arten von Talsperren: 1. Erddämme aus Erde, Lehm, Kies oder Sand. Diese sind besonders sicher gegen Zerstörung und möglichst zu wählen (Hennetalsperre); 2. Steindämme, die meist mit Bitumen verklebt werden (Assuanstaudamm II); 3. Schwergewichtsmauern, die als gerade Mauern erstellt werden (Möhnetalsperre); 4. Bogenstaumauern, die als bogenförmige Mauern besonders im Gebirge gebaut werden; 5. aufgelöste Bauarten wie z. B. Pfeilerstaumauern (Vöhrenbachsperre). Die auf eine Talsperre in erster Linie wirkenden Kräfte sind statische Druckkräfte (Abb. 4). Hierzu zählen hauptsächlich der Wasserdruck, der stets senkrecht auf die Staumauer wirkt, und das Eigengewicht. Hinzu kommen der Sohlenwasserdruck, der durch eindringendes Druckwasser in der Talsperrensohle entsteht, der Erddruck, der Eisdruck sowie der Porenwasserdruck und aus Temperaturschwankungen und aus dem Material herrührende Kräfte. Dynamische Kräfte fallen ihnen gegenüber kaum ins Gewicht. Die resultierende Kraft aus dem Eigengewicht, dem Wasserdruck und allen anderen Kräften soll in Richtung auf das Fundament wirken. Wegen der Schubwirkung ist das Fundament mit dem Gelände grob verzahnt. Außerdem soll die Talsperre so gebaut sein, daß keine Zugspannungen im Material auftreten.

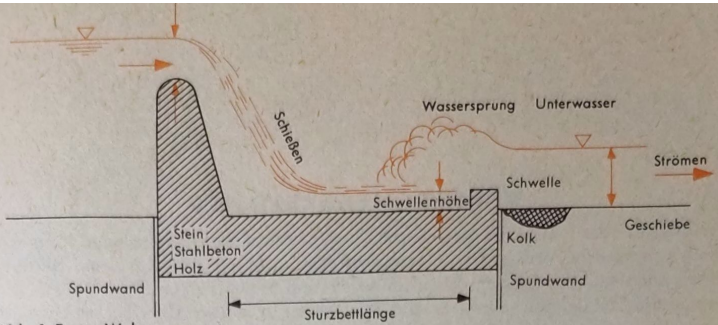


Abb. 1 Festes Wehr

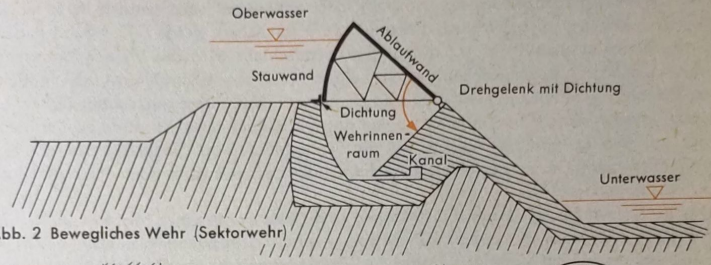
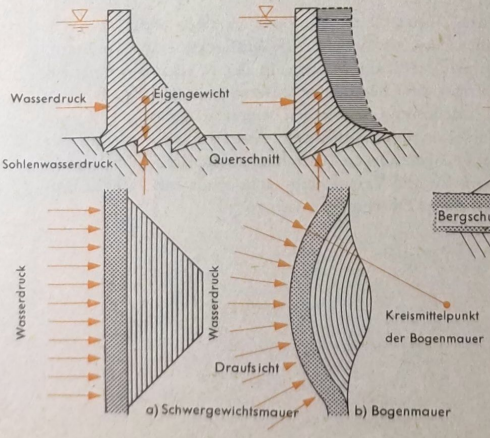


Abb. 2 Bewegliches Wehr (Sektorwehr)

Abb. 3 Verschlußformen unterfluteter Wehre



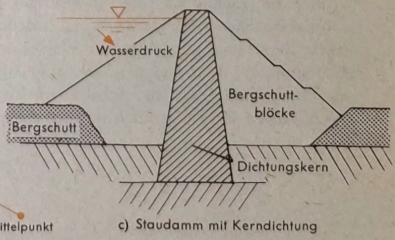


Abb. 4 Talsperren (Systeme)

WASSERAUFBEREITUNG

Trinkwasser oder Wasser für gewerbliche Zwecke muß aufbereitet werden, d. h., es muß durch verschiedene Verfahren von Schwebestoffen, gelösten Substanzen und Bakterien befreit und ihm außerdem sein Eisen-, Mangan- und Säuregehalt entzogen werden.

Der größte Teil der Schwebestoffe wird dem Wasser in großen Absetzbecken entzogen, durch die es mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 mm/s fließt. Dabei setzen sich die Stoffteilchen auf dem Boden ab. Noch kleinere Schmutzteilchen werden in Sandfiltern entfernt (Abb. 1), in denen auch Bakterien zurückgehalten werden. Der Sand hat eine Korngröße von etwa 1 mm ⌀; durch diese Sandschicht wird das Wasser hindurchgeführt, entweder in großen Behältern sehr langsam (langsames Sandfiltern) oder in kleineren Behältern schneller (schnelles Sandfiltern), unter Umständen sogar unter Druck. Gereinigt werden diese Filter, indem man von unten her gereinigtes Wasser in großer Menge und mit großer Geschwindigkeit auf die Sandschicht gibt. Dadurch wird der Sand aufgeschwemmt, die an der Oberfläche der Sandkörnchen aufsitzenden Schmutzteilchen werden mitgerissen.

Das im Wasser gelöste Eisen und Mangan muß, wenn es in einer Menge von 0,1 mg/l enthalten ist, entfernt werden. Enteisenungs- und Entmanganungsanlagen haben die Aufgabe, die beiden Metalle in unlösliche Verbindungen zu überführen, die ausflocken und in den erwähnten Sandfiltern abgefiltert werden. Meist sind die beiden Elemente an Kohlensäure gebunden; sie lösen sich aber schnell, wenn Sauerstoff hinzukommt, der mit ihnen eine unlösliche Verbindung eingeht. Das Zusammentreffen des Sauerstoffs mit dem Wasser geschieht in sogenannten Rieslern (Abb. 2), wo das Wasser von unten durch Brausen oder Düsen in eine 2 m dicke Schicht aus Koksbrocken oder Klinkersteinen gesprüht wird. Durch dieses Versprühen wird die Oberfläche des Wassers sehr groß, es kann so mit viel Sauerstoff aus der Luft in Berührung kommen. Dieses belüftete Wasser fällt in ein Absetzbecken, wo sich erst einmal die Flocken bilden, die dann auf den Boden absinken oder aber in einem nachgeschalteten Filter abgefiltert werden (Abb. 3). Besonders schwierig wird die Behandlung, wenn die Elemente Eisen und Mangan nicht an Kohlensäure, sondern an Schwefel- oder Huminsäure gebunden sind. In diesem Falle werden in einem Accelerator (Abb. 4) anstelle von Luft entsprechende, die Ausflockung bewirkende Chemikalien zugesetzt.

Das Rohwasser fließt seitlich in den Apparat ein, und zwar an einer Stelle, wo sich schon flockenhaltiges Wasser befindet. Dies geschieht, um die Ausflockung zu erleichtern. Von hier fließt das Wasser in eine primäre Reaktionszone, in der es ständig von einem Rührer umgewälzt wird und in der man die Chemikalien zusetzt. Sodann gelangt es in eine sekundäre Reaktionszone, wo wiederum Chemikalien zugesetzt werden. Über ein Wehr fließt das so behandelte Wasser in das ringförmige Absetzbecken, in dem der Schlamm und das geklärte Wasser abgezogen werden. Auch hier erfolgt die Nachreinigung durch ein Sandfilter. Ein Accelerator für die Versorgung einer Stadt mit 100000 Einwohnern ist etwa 6 m hoch und hat einen Durchmesser von 26 m.

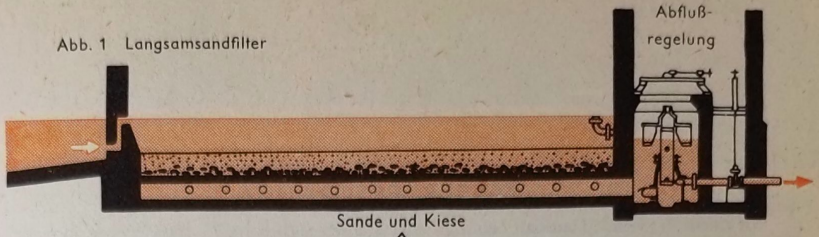


Abb. 1 Langsamsandfilter

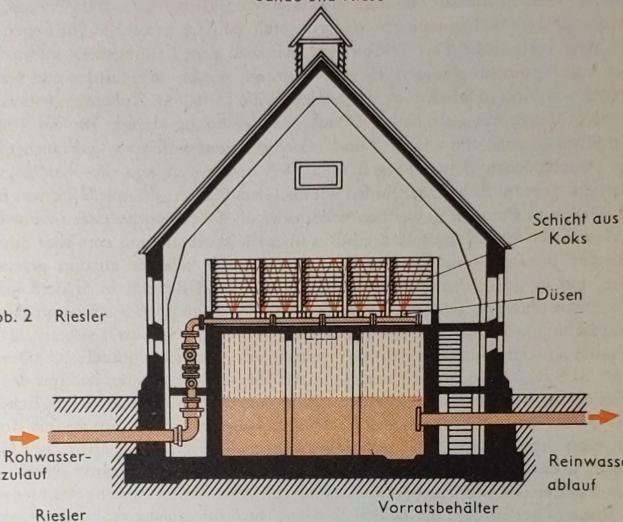


Abb. 2 Riesler

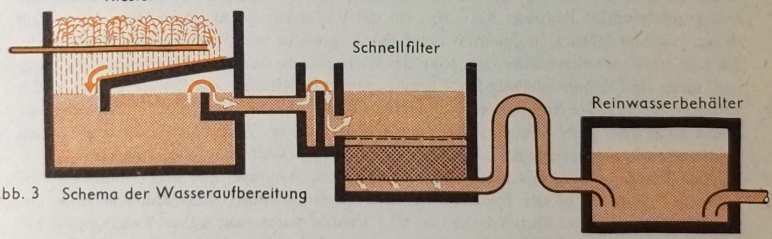


Abb. 3 Schema der Wasseraufbereitung

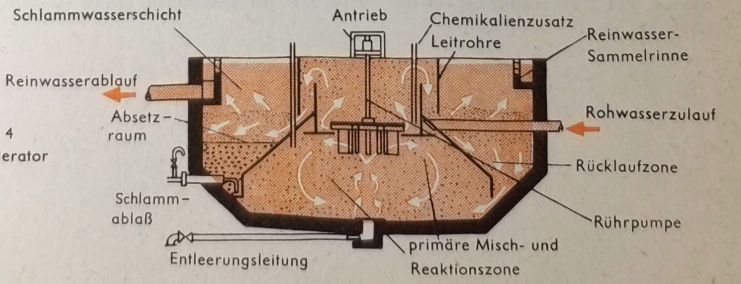


Abb. 4
Accelerator

WASSERVERSORGUNG

In einem modernen Haushalt benötigt jeder Mensch täglich rd. 75–100 l Wasser, in einer Großstadt mit 100000 Einwohnern werden somit jährlich etwa 3,65 Millionen Kubikmeter Wasser verbraucht. Das Trinkwasser, das man dem Leitungsnetz entnimmt, muß vielerlei Anforderungen genügen. Es muß keimfrei, geruch- und farblos und von gutem Geschmack sein und möglichst wenig gelöste Stoffe enthalten. Außerdem soll es stets in genügender Menge bei geeignetem Druck zur Verfügung stehen. Bis das Rohwasser zum Trinkwasser wird und von der Fund- oder Entnahmestelle zum Verbraucher kommt, muß es verschiedenen Behandlungen (s. S. 268) unterzogen und oft über lange Wege transportiert werden. Rohwasser finden wir als Grundwasser, das mit Hilfe von Brunnen (vgl. S. 264) und Pumpen gewonnen wird, oder als Oberflächenwasser in Flüssen und Seen. Von diesen Entnahmestellen wird es über die Aufbereitung entweder direkt zum Verbraucher gepumpt oder aber über einen Zwischenbehälter dorthin geleitet. Die Behälter sind in gebirgigen Gegenden auf Hügeln und Bergen, in Städten jedoch in Wassertürmen untergebracht. Sie sollen Schwankungen im Verbrauch ausgleichen, aber auch bei Leitungsschäden oder Pumpenausfall einen gewissen Vorrat sichern. Man kann die Behälter so setzen, daß der gesamte Wasserstrom durch sie hindurchgeht (Durchlaufbehälter; Abb. 1), mit je einem Zu- und einem Ablauf, oder aber so, daß nur das gerade nicht benötigte Wasser in den Behälter strömt, aus dem es dann in Zeiten hohen Verbrauchs wieder abfließt (Gegenbehälter; Abb. 2). Gegenbehälter haben nur ein Rohr, das als Zu- oder Abfluß dient. Der obere Wasserspiegel in diesen Behältern soll 35 – 40 m über dem höchsten Straßenniveau liegen, um einen genügend hohen Druck an den Entnahmestellen des Verbrauchers zu sichern (vgl. Abb. 3a). In zwei miteinander verbundenen Röhren stellen sich die beiden Wasserspiegel auf gleiche Höhe ein (Gesetz der kommunizierenden Röhren; Abb. 3b); für die Wasserleitung in einem Haus ergibt sich daraus, daß der Druck in einem Wasserhahn so groß ist wie die Höhe der Wassersäule, die z. B. im Wasserturm über der Höhe des Wasserhahns steht. Die Wassersäule im Turm (die einer der kommunizierenden Röhren entspricht) drückt den Wasserspiegel in der anderen Röhre (der Steigleitung im Haus) auf die gleiche Höhe hinauf. Liegt also der Hahn 10 m über dem Straßenniveau, der Wasserstand im Turm jedoch 20 m über dem Straßenniveau, so beträgt der Druck am Hahn 10 m Wassersäule (1 Atmosphäre).

In Rohrleitungen aus Grauguß, Stahl, Stahlbeton, Asbestzement und Kunststoff, die 1,25 bis 1,50 m unter der Erde verlegt sind (Rohrdeckung), wird das Wasser an die Häuser herangeführt. Durch Schieber und Ventile kann man ganze Leitungsäste absperren. Zur Wasserentnahme auf der Straße, z. B. bei Brandfällen, dienen Hydranten (Abb. 4).

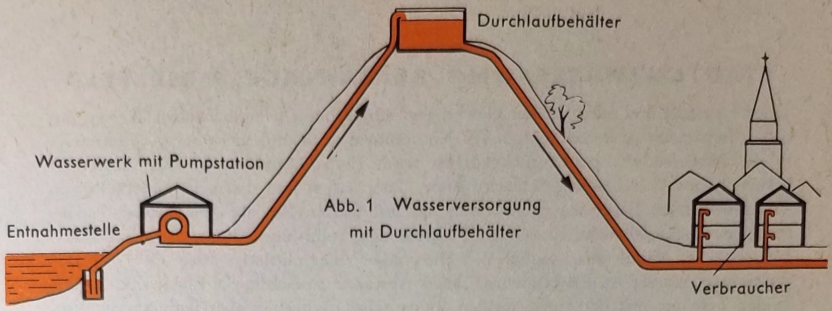


Abb. 1 Wasserversorgung mit Durchlaufbehälter

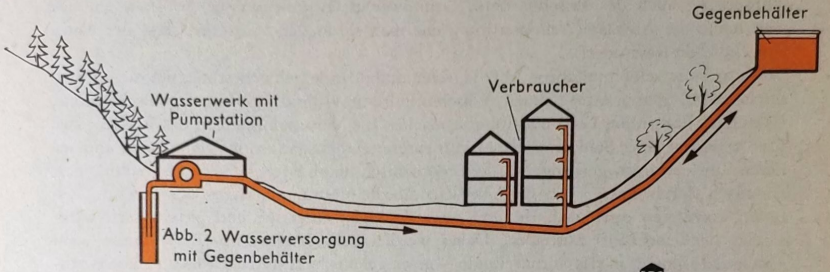


Abb. 2 Wasserversorgung mit Gegenbehälter

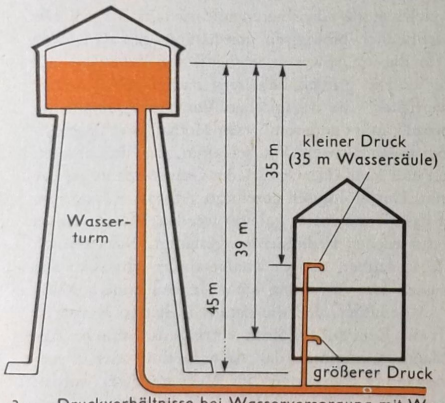


Abb. 3a Druckverhältnisse bei Wasserversorgung mit Wasserturm

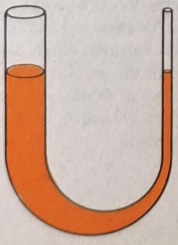


Abb. 3b
Kommunizierende Röhren

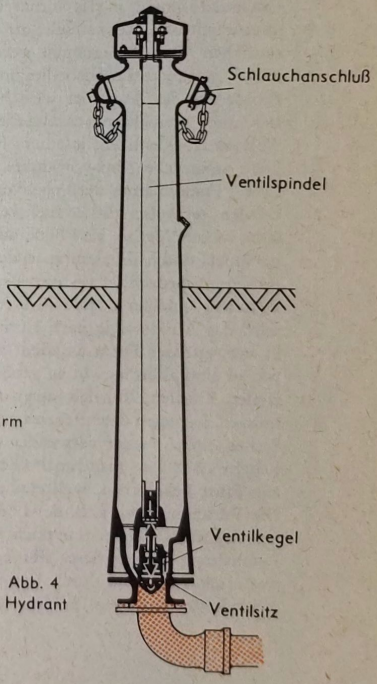
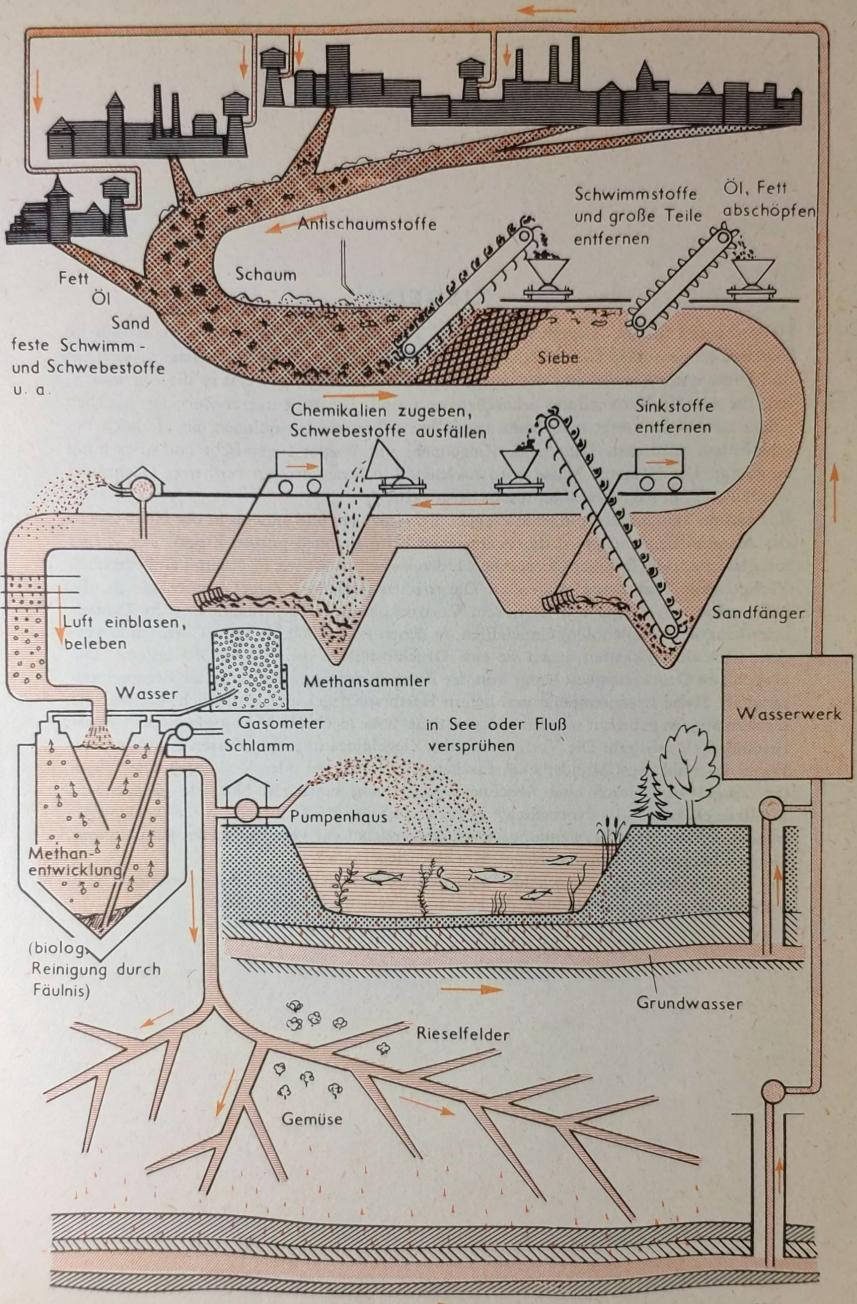


Abb. 4
Hydrant

STADTENTWÄSSERUNG, KLÄRANLAGE, RIESELFELD

Jeder Haushalt und nahezu jeder Gewerbebetrieb verbraucht täglich reines Wasser, das den Frischwasserleitungen (vgl. S. 270) entnommen wird und meist stark verunreinigt in die Abwasserleitungen zurückgegeben wird. Einen besonders großen Wasserverbrauch haben Wäschereien, Schlachthäuser, Gasanstalten und die meist außerhalb von Wohnsiedlungen liegenden chemischen und technischen Betriebe (Färbereien, Papierfabriken, Zuckerfabriken, Kokereien, Schwelereien, Stahl- und Eisenwerke, Bergwerksbetriebe). Im Mittel fallen täglich pro Einwohner einer mittleren Stadt 150 Liter verunreinigtes Wasser an. Früher wurde dieses Abwasser einfach in die Flüsse oder in den Boden geleitet; mit der zunehmenden Industrialisierung stieg aber dadurch die Verschmutzung auch des Frischwassers (Grundwasser, Brunnenwasser) so stark an, daß man heute die Abwässer reinigen muß, ehe man sie in den Wasserkreislauf der Natur zurückfließen lassen darf.

Sand, gröbere schwimmfähige Abfälle, schlammbildende Schwebestoffe, gelöste anorganische Salze, Säuren oder Laugen, Waschmittelreste, kolloidal gelöste organische Stoffe, Bakterien, Farbstoffe, Fett- und Ölreste machen die Verunreinigungen des Wassers aus. Das Abwasser einer Stadt muß daher in mehreren Arbeitsgängen in Kläranlagen und anderen Einrichtungen gereinigt werden: mechanisch durch Rechen, Siebe und Sandfänger, chemisch durch Zusatz von Chemikalien, die die Verunreinigungen des Wassers ausfällen, oxydieren oder nach Bildung eines flockigen chemisch und physikalisch wirksamen Niederschlages mitreißen. Dabei werden z. B. Magnesium-, Aluminium- und Eisensalzlösungen in das verunreinigte Wasser geleitet und durch Laugen in hochwirksame Hydroxide verwandelt, die zahlreiche Stoffe adsorbieren und niederschlagen. Die restlichen Verunreinigungen werden schließlich biologisch unschädlich gemacht. Man schafft geeignete Lebensbedingungen für die im Abwasser vorhandenen Bakterien und Protozoen, das Abwasser wird belüftet und in großen Behältern stehen gelassen. Die sich stark vermehrenden Bakterien „verdauen" die organischen Verunreinigungen des Abwassers, es entsteht in einem Faulprozeß außer anderen Gasen Methan und unschädliche organische Abbauprodukte. Dabei bildet sich ein Faulschlamm, der sich absetzt. Dieser Faulschlamm wird nachvergoren und kann danach z. B. der Gartenerde zugesetzt werden; teilweise wird er auch verbrannt. Das biologisch gereinigte Abwasser kann nun über Rieselfelder in die Flüsse oder in das Grundwasser geleitet werden; dabei wird es nochmals durch Filtrierung in den verschiedenen Erdschichten gereinigt. Nach diesem Reinigungsprozeß ist es normalerweise so sauber, daß es wieder als Frischwasser aus Brunnen, Quellen oder dem Grundwasser zur Verfügung steht. In steigendem Maße wird das Abwasser je nach Herkunft so gereinigt, daß die daraus isolierten Rohstoffe in verwertbarer Form anfallen und so die Reinigungskosten verringern. Manche Abwässer sind allerdings in so großem Maße verunreinigt, daß sie verbrannt oder in speziellen Kanälen, Rohrleitungen oder sogar mit Tankwagen ins Meer geschafft werden müssen. In vielen chemischen und technischen Fabriken wird das Abwasser so gereinigt, daß es direkt wieder verwendet werden kann. Zahlreiche Städte müssen das benötigte Frischwasser aus manchmal über hundert Kilometer entfernten Seen oder Flüssen zugeführt bekommen, weil eine ausreichende Reinigung des Abwassers nicht gelingt. Die Verschmutzung z. B. des Bodensees ist aber schon so weit fortgeschritten, daß reines ungiftiges Wasser nur noch aus Tiefen über 60 m entnommen werden kann. Die Reinhaltung unserer Seen, Flüsse, Quellen und des Grundwassers durch richtige Abwasserreinigung und durch Vermeidung grober Verschmutzung (Heizöl!) ist heute zu einem lebenswichtigen Problem für Millionen Menschen geworden.

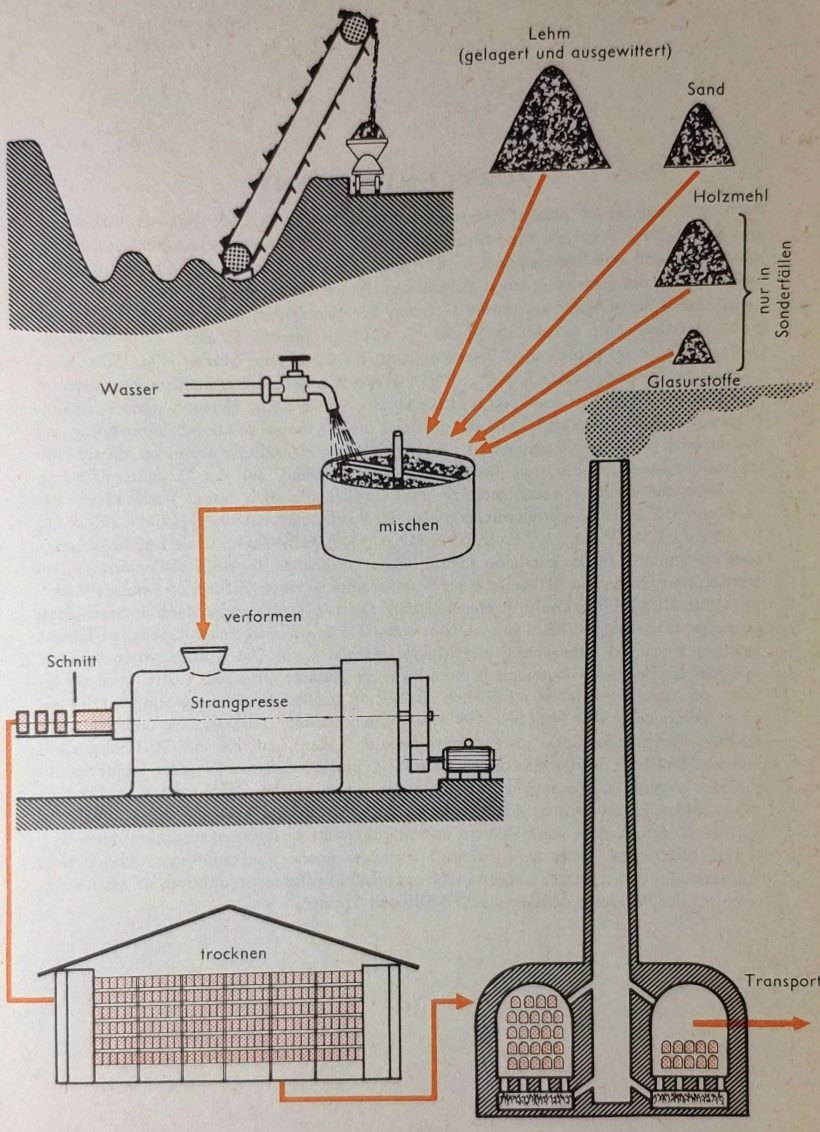

Antischaumstoffe
Schwimmstoffe und große Teile entfernen
Öl, Fett abschöpfen
Fett
Öl
Sand
feste Schwimm- und Schwebestoffe u. a.
Schaum
Siebe
Chemikalien zugeben, Schwebestoffe ausfällen
Sinkstoffe entfernen
Sandfänger
Luft einblasen, beleben
Methansammler
Wasser
Gasometer
Schlamm
in See oder Fluß versprühen
Wasserwerk
Pumpenhaus
Methan-entwicklung
(biolog. Reinigung durch Fäulnis)
Grundwasser
Rieselfelder
Gemüse

ZIEGELEI

Hauptrohstoff für die Ziegelherstellung ist Ton bzw. Lehm, der nach dem Abbau im Tagebau längere Zeit vorbehandelt wird. Erst durch das Auswittern (Lagern in Frost und Hitze unter Einwirkung der natürlichen Niederschläge) gewinnt er die Eigenschaften, die für die Verwendung wünschenswert sind. Um in kürzerer Zeit den gleichen Effekt zu erzielen, setzt man heute spezielle Aufbereitungsmaschinen ein. Je nach Beschaffenheit wird dem Ton Sand, Ziegelmehl mit Wasser zugemischt und alles innig vermengt. Die bildsame Masse wird maschinell in Strangpressen verformt; Dachziegel werden z. T. in sog. Revolverpressen hergestellt.

Für wärme- und schalldämmende Ziegel wird Holzmehl und anderes in der Hitze gasendes Material beigemengt; dadurch entstehen beim Brennen poröse Ziegel. Für Ziegel mit glasierter oder farbiger Oberfläche werden weitere Stoffe wie Flußmittel und Engoben (farbgebende Tonmassen) zugesetzt. Die trocken gepreßten Ziegel werden gleich, die naß verformten Ziegel erst nach dem Vortrocknen (in Trockenkammern) in Tunnel- oder Ringöfen (Hallenöfen) eingefahren, in denen sie bei 900 bis 1100°C gebrannt werden; nach dem Erkalten haben sie eine Druckfestigkeit von 100 bis 350 kp/cm². Die erreichbare Druckfestigkeit hängt von der Zusammensetzung und von der Brenntemperatur ab. Hohe Brenntemperaturen liefern Hartbrandziegel und schließlich Klinker, die bis zum Sintern gebrannt worden sind und dabei hohe mechanische Festigkeit und Wetterbeständigkeit erhalten. Die Verformung des Ziegelgutes in Strangpressen ergibt je nach Form des stählernen Mundstückes Flachziegel, Hohlziegel oder Vollziegel. Die Länge der Ziegel wird durch eine Abschneidevorrichtung bestimmt. Normale Ziegelsteine (Vollziegel) haben das Normalmaß 24 cm × 11,5 cm × 7,1 cm (vgl. S. 284). Daneben werden je nach dem Verwendungszweck Mauerziegel der verschiedensten Formen und Größen hergestellt (Langlochziegel, Hochlochziegel u. a.).

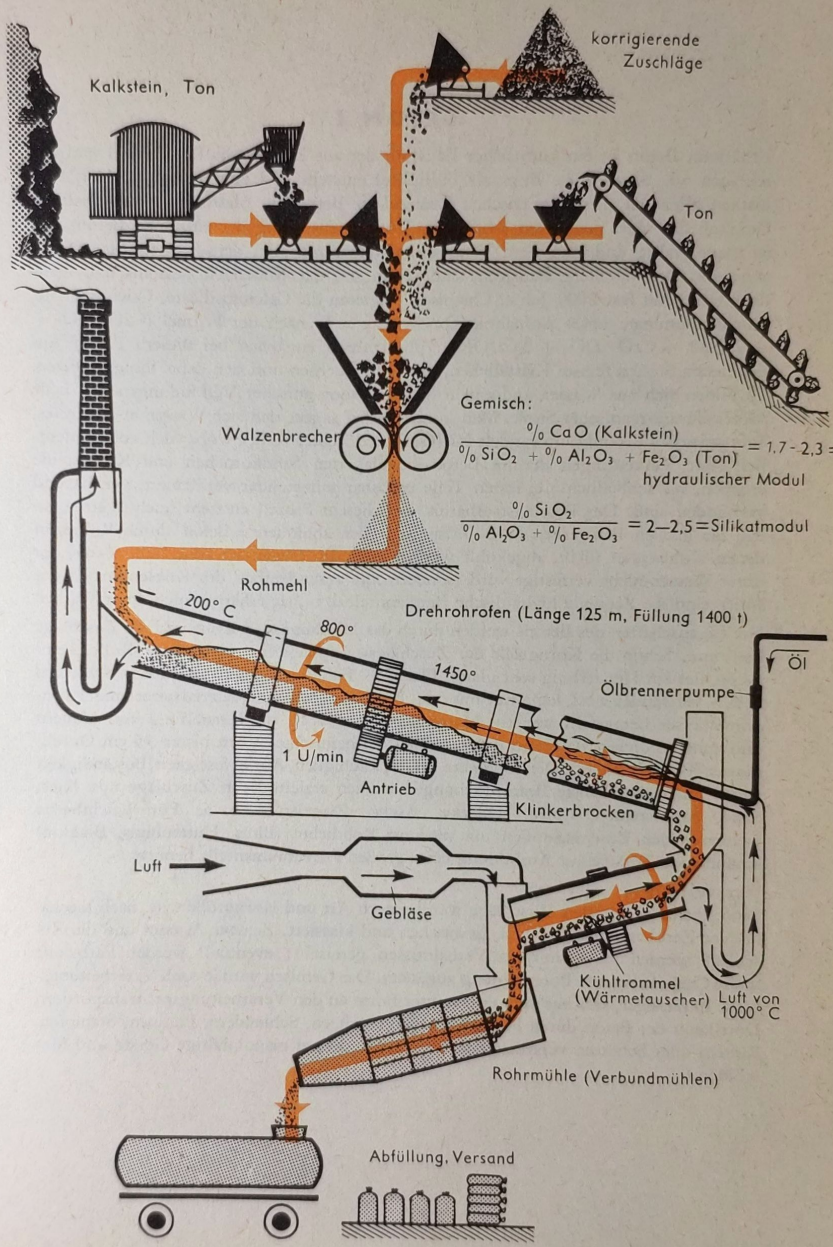
Bei den Dachziegeln unterscheidet man Strangdachziegel wie Biberschwanzziegel und Preßdachziegel wie Falzpfannen, die ineinander versetzt werden können.



im Ring- oder Tunnelofen (Hallenöfen) brennen

PORTLANDZEMENT

Portlandzement ist ein pulverförmiger Baustoff, der in großen Mengen aus Kalksteinen und Tonen durch Brennen, Sintern zu Klinkern und Feinstmahlen hergestellt wird. Im Gemisch mit Sand und Kieselsteinen wird er mit Wasser zu einem gießbaren Brei angerührt und in Form des so entstandenen Betons zum Bauen verwendet (s. S. 280). Bei der Zementherstellung müssen bestimmte Grenzen der chemischen Zusammensetzung eingehalten werden. Der *hydraulische Modul* (% CaO zu Summe % SiO_2 + % Al_2O_3 + + % Fe_2O_3) muß größer als 1,7 sein, er kann bis 2,3 erhöht werden. Der *Silicatmodul* (% SiO_2 zu Summe % Al_2O_3 + % Fe_2O_3) soll den Wert 2 bis 2,5 erreichen. Beim Brennen und Sintern dieser Stoffgemenge bilden sich eine ganze Reihe Verbindungen (Calciumsilicate, Calciumaluminate, Calciumferrite u. a.), die mit Wasser in komplizierter Weise und danach auch untereinander reagieren, wobei sich feinste Kristallfilze ausbilden, die sehr fest ineinander haften. Diese und weitere Prozesse bewirken, daß der Zement mit beigemischtem Sand und Kieselsteinen zu einem außerordentlich festen Verbund erstarrt (s. Beton S. 278). Im Durchschnitt setzt sich der Portlandzement aus 63% CaO, 21% SiO_2, 7% Al_2O_3, 1,5% MgO, 3% Fe_2O_3, 1,5% SO_3, 0,5% Alkali, MnO_2, Wasser und Kohlendioxid zusammen. Die mit korrigierenden Zusätzen versehenen Rohstoffe Kalkstein und Ton werden feinstgemahlen (teilweise unter Wasserzusatz zu einem fließenden Brei) gemischt, und schließlich in einen Drehrohrofen gebracht. Dieser besteht aus einem mit Spezialsteinen ausgemauerten, bis zu 125 m langen Rohr (etwa 2–3 m ⌀), das geneigt dauernd in Längsrichtung mit 0,5–1 Umdrehung pro Minute gedreht wird. Die Rohstoffmasse wandert in Richtung des tiefer liegenden Rohrendes einer Flamme entgegen. Dabei wird sie erhitzt, gebrannt und sintert schließlich zu 2–3 cm großen Brocken zusammen, die mit einer Temperatur von 1400 bis 1450°C den Drehrohrofen verlassen. Sie fallen in einen Kühler (Wärmetauscher), in welchem sie durch Luft auf 100 bis 70°C abgekühlt werden. Die Luft erhitzt sich dabei auf 1000°C und wird einem Öl- oder Kohlenstaubbrenner zugeführt. Die sogenannten Klinkerbrocken werden dann stufenweise in Verbundmühlen bis zu feinstem Staub zermahlen und in Zementsilos oder Zementsäcke abgefüllt. Durch Zusätze kann Zement in wasserdichten, säurefesten, seewasserfesten, fettfesten, elastischen, leichten, schweren, besonders druck- und zugfesten, schnell oder langsam bindenden Beton umgewandelt werden. Die Jahresproduktion an Zement erreicht in der Bundesrepublik etwa 30 Millionen Tonnen.


korrigierende Zuschläge
Kalkstein, Ton
Ton
Gemisch:
Walzenbrecher
% CaO (Kalkstein) / % SiO2 + % Al2O3 + Fe2O3 (Ton) = 1,7 - 2,3 = hydraulischer Modul
% SiO2 / % Al2O3 + % Fe2O3 = 2—2,5 = Silikatmodul
Rohmehl
200° C
800°
1450°
Drehrohrofen (Länge 125 m, Füllung 1400 t)
Öl
Ölbrennerpumpe
1 U/min
Antrieb
Klinkerbrocken
Luft
Gebläse
Kühltrommel (Wärmetauscher)
Luft von 1000° C
Rohrmühle (Verbundmühlen)
Abfüllung, Versand

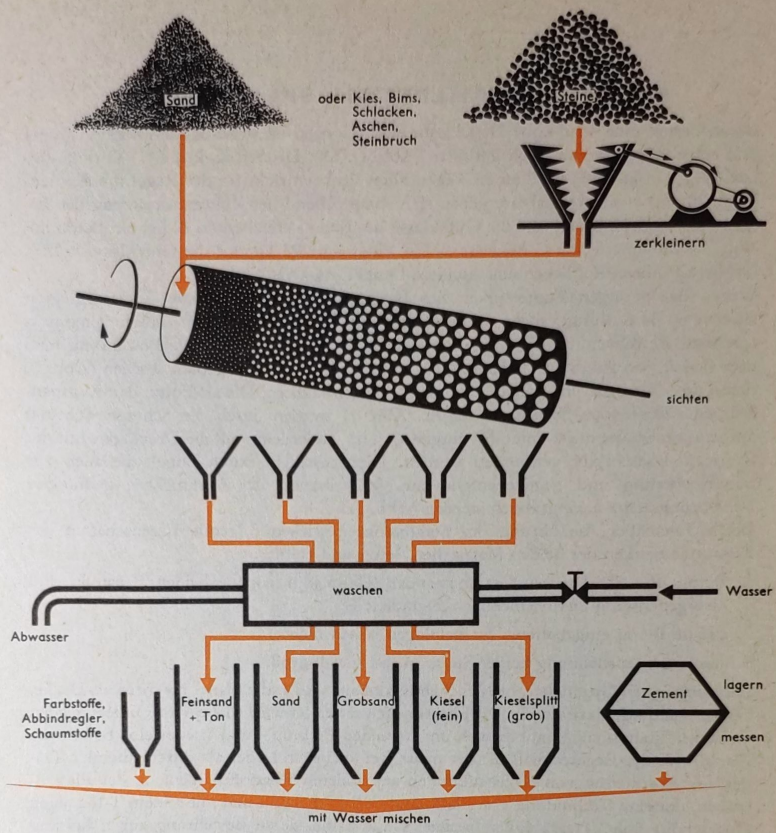
BETON I

Erhärteter Beton ist ein künstlicher Baustoff, der aus Zement als Bindemittel und Zuschlägen wie Sand, Kies, Bims als Füllmittel entsteht und zum Herstellen von Bauwerken aller Art dient. Im frischen Zustand ist Beton ein plastisches, wasserhaltiges Gemisch der oben genannten Stoffe. Die Zusammensetzung der einzelnen Betontypen ist mannigfaltig und ganz dem Verarbeitungsverfahren oder dem Verwendungszweck angepaßt. Betonähnliche Baustoffe sind schon seit der Römerzeit bekannt und überdauerten damit fast 2000 Jahre. Chemisch reagieren die Calciumsilicate, Calciumferrite, Calciumaluminate unter Aufnahme von Wasser z. B. nach der Formel $(CaO)_3SiO_2 + 2\,H_2O \rightarrow CaO \cdot SiO_2 + 2\,Ca(OH)_2$; physikalisch entstehen bei diesem Prozeß aus den neuen Stoffen feinste Kriställchen, die rasch wachsen und sich dabei innig verfilzen. Es bilden sich aus Wasser und einem Molekül anorganischer Verbindungen drei neue Moleküle anorganischer Stoffe. Man könnte dabei sagen, daß sich Wasser in ein festes, anorganisches Produkt umwandelt ($Ca(OH)_2$, gelöschter Kalk), wobei sich außerordentlich feste Verkettungen der im Beton eingelagerten Sandkörnchen und Kieselsteine ergeben, bis schließlich alle festen Teile unlösbar miteinander verklemmt, verfilzt und verbunden sind. Der Beton ist erhärtet. Bei diesem Prozeß entsteht auch Wärme, so daß bei großen Bauwerken (z. B. Talsperren) der abbindende Beton durch Rohre, in denen Kühlwasser fließt, abgekühlt werden muß. Im Gegensatz zum Kalkmörtel, der unter Wasser nicht verfestigt wird (sondern nur unter Einfluß des Kohlendioxids der Luft), sind die Zemente hydraulische Bindemittel, d. h., sie erhärten auch unter Wasser.

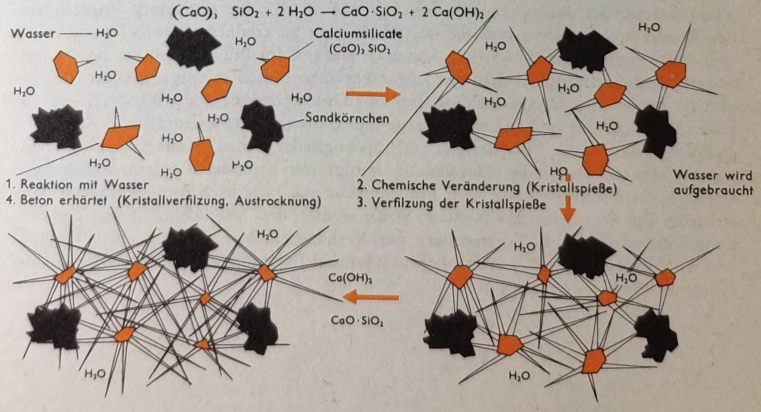
Die Eigenschaften des Betons werden durch das Mischungsverhältnis und die Zuschläge bestimmt. Schon die Korngröße der Zuschlagstoffe spielt eine wesentliche Rolle. Feinbeton, der zur Herstellung sehr glatter Flächen – Fußböden, Putzlagen, dünne Schichten usw. – verwendet wird, kann nur mit fein- bis mittelkörnigem Material unter 7 mm Korndurchmesser hergestellt werden. Massenbeton, der z. B. zur Herstellung von Mauern und anderen dicken Bauteilen dient, enthält ein gemischtes Korn bis zu 15 cm Durchmesser (Fußballgröße!). Die Rohdichte, Härte, Rauhigkeit, Abriebfestigkeit, Beständigkeit gegen unterschiedlichste Beanspruchungen werden erzielt durch Zuschläge aus Kies, Sand, Natursteinen, Bims, Schlacke, Asche, Ziegelsplitt u. a. Für Leichtbeton werden neben Zuschlagstoffen mit niederer Rohdichte (Bims, Hüttenbims, Blähton) schäumende Zusätze zur Ausbildung eines großen Porenraumanteils benutzt.

Herstellung:

Sand, Steine und andere Zuschläge werden nach Art und Korngröße evtl. nach mechanischer Zerkleinerung gesichtet, gewaschen und klassiert. Zement, Wasser und die Zuschläge werden in bestimmten Verhältnissen gemischt; eventuell werden Farbstoffe sowie Chemikalien zur Porenbildung zugesetzt. Das Gemisch wird je nach Verarbeitungsweise in flüssiger, weicher oder erdfeuchter Form an den Verarbeitungsort transportiert. Dort kann der Beton durch Pressen, Gießen, Spritzen, Schleudern, Pumpen, Stampfen, Rütteln oder Schütten verarbeitet werden. Dazu dienen mannigfaltige Geräte und Maschinen.



Abbinden von Beton



BETON II (STAHLBETON, SPANNBETON)

Beton besitzt eine sehr hohe Druckfestigkeit, dagegen ist seine Schubfestigkeit gering und seine Zugfestigkeit noch geringer (Abb. 1). Die Druckfestigkeit (= Würfelfestigkeit W_{b28}, in kp/cm²) wird an 28 Tagen alten Probewürfeln (in der Regel mit Kantenlänge 20 cm) ermittelt; dabei ergeben sich entsprechend der Zusammensetzung des Betons verschiedene Werte, die die Güteklasse des Betons angeben (z. B. hat ein Beton mit W_{b28} = 120 kp/cm² die Güteklasse B 120, einer mit 225 kp/cm² die Güteklasse B 225). Größere Probewürfel haben eine kleinere Druckfestigkeit.

Wegen der geringen Zugfestigkeit des Betons wird beim *Stahlbeton* den eingelegten Eisen (= Bewehrung), meist Rundstählen mit vernachlässigbarem Trägheitsmoment („schlaffe Bewehrung"), die Aufnahme der Zugkräfte übertragen. Die Bewehrung muß dort liegen, wo Zugkräfte auftreten, sie muß deren Verlauf angepaßt werden (Abb. 2), damit die Zugkräfte von ihr aufgenommen werden können. Die als Folge der Zugspannungen auftretenden Schubspannungen (Abb. 1) werden durch die Schrägbewehrung aufgenommen, die meist unter 45° aufgebogen ist; außerdem muß die Druckzone mit der Zugzone konstruktiv verbunden werden. Dies geschieht durch Bügel, die auch zur Schubsicherung und gegebenenfalls zur Verhinderung des Ausknickens gedrückter Bewehrungsstäbe herangezogen werden (Abb. 3).

Bei sachgemäßer Ausführung des Stahlbetons bewirken folgende Eigenschaften das Zusammenwirken der beiden Materialien Beton und Stahl:

1. Beton und Stahl haften fest aneinander (Haftfestigkeit), die beiden Baustoffe sind also gegenseitig unverschiebbar verbunden;
2. die im Beton eingebetteten Stahleinlagen rosten nicht;
3. die Wärmeausdehnung beider Stoffe ist fast gleich groß.

Die wichtigsten Grundelemente des Stahlbetonbaus sind 1. die Platte, die meist als Decke, Dach, Wand oder lastverteilendes Fundament verwendet wird (dabei ist zu unterscheiden zwischen Platten mit Hauptbewehrung in einer Richtung und kreuzweise bewehrten Platten), 2. der Rechteckbalken, der meist frei aufliegend oder als durchlaufender Träger zur Abstützung von Konstruktionen aus anderen Baustoffen dient, 3. der Plattenbalken, der eine Verbindung von Platte und Balken darstellt und mit seinem T-förmigen Querschnitt hohe Tragfähigkeit besitzt, 4. die Säule, deren Bewehrung zur Erhöhung der Tragfähigkeit und Aufnahme der Biegebeanspruchung dient (dabei sind Bügel zur Verhinderung des Ausknickens notwendig; Abb. 4). Um die mangelnde Zugfestigkeit des Betons auszuschalten und die des Stahlbetons zu erhöhen, wird beim *Spannbeton* eine Vorspannung der Bewehrung künstlich erzeugt. Im Prinzip wird ein Spannungszustand herbeigeführt, der dem aus Lasten hervorgerufenen so entgegenwirkt, daß die Summe beider in jeder Querschnittsfaser nur Druckspannungen erzeugt (z. B. erzeugt beim Wagenrad der glühend aufgezogene und dann erkaltete Eisenreifen in den Holzspeichen Druck durch Vorspannung). Als Spannglieder dienen Drähte, Stäbe oder Seile aus hochfestem Stahl; die Anspannung erfolgt mit besonderen Spannvorrichtungen (meist hydraulischen) einzeln oder gruppenweise vor oder nach dem Betonieren bzw. Erhärten des vorgespannten Bauteils. Dabei werden drei Möglichkeiten der Vorspannung unterschieden: 1. Vorspannung mit Verbund, 2. Vorspannung ohne Verbund und 3. Vorspannung mit nachträglichem Verbund (Verbund = Verbindung zwischen Beton und Stahl).

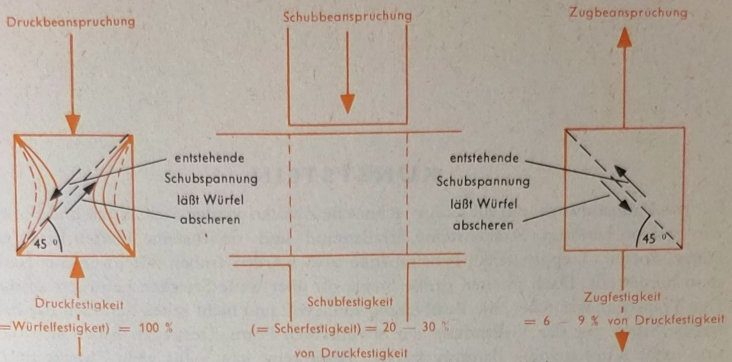


Abb. 1 Betonfestigkeiten im Vergleich zur Würfelfestigkeit = 100 %

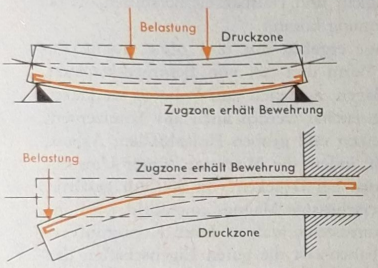


Abb. 2 Auftreten von Zug und Druck am gebogenen Balken und Lage der Bewehrung

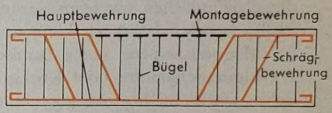


Abb. 3 Bewehrungsanordnung eines Stahlbetonbalkens

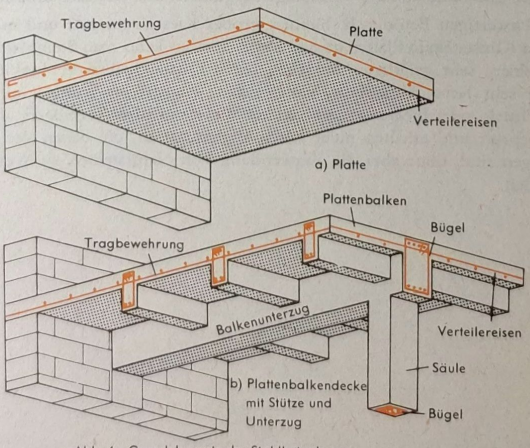


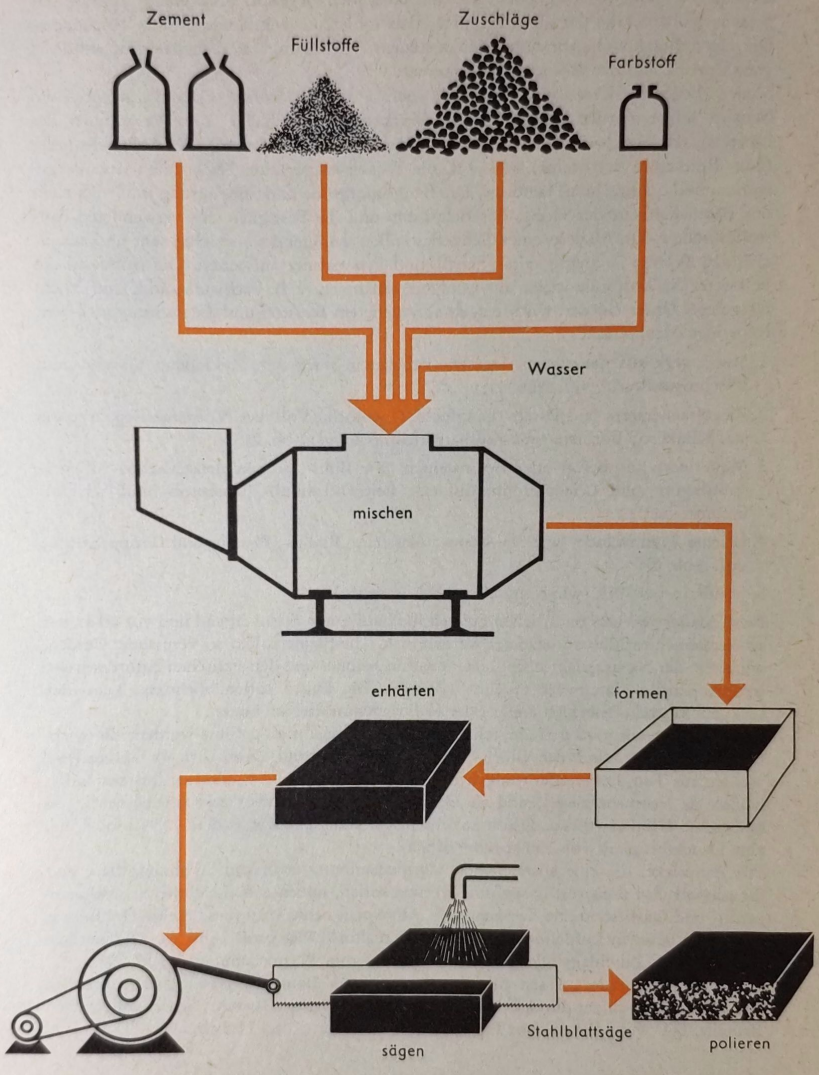
Abb. 4 Grundelemente des Stahlbetonbaus

KUNSTSTEIN

Für das Bauhandwerk und für einige technische Zwecke werden viele Arten und Formen von Steinen benötigt. Straßensteine, Straßenrand- und -rinnensteine, Platten für Wege, Plätze, Sockel, Treppensteine, Fensterbänke usw. wurden früher durchweg aus Naturstein hergestellt. Dazu mußten große Steine oft über weite Strecken befördert werden. Der Transport war teuer, die Bearbeitung mühevoll und nicht selten zerbrach das halbfertige Stück vor der Vollendung der erwünschten Form. Deswegen haben sich mehr und mehr Kunststeine – Betonwerksteine, Betonsteine u. a. – für viele Zwecke durchgesetzt. Man kann Basalt, Granit, Diabas, Porphyr, Sandstein, Marmor nachahmen und aus hochwertigem Betonmaterial in guter Festigkeit und Haltbarkeit herstellen, wobei noch dazu der Vorteil einer brauchbaren Vorformung kommt.

Zement als Bindemittel und Natursteinzuschläge ergeben mit und ohne innere Bewehrung (mit Draht oder Stahlschienen) jede Form und Art von Betonwerksteinen, deren Sichtflächen wie beim Naturstein durch Sägen, Schleifen und Polieren werkstattmäßig bearbeitet werden können. Manche Kunststeine werden auch aus Sorelzement (= Magnesiazement) unter Zumischung von feinen und groben Holzabfällen, Asbest, Kieselgur, Schamotte- oder Korkgries hergestellt, indem die Mischung (unter Umständen) gefärbt, in Formen gepreßt und 24 Stunden bei Drücken von 300 atü gehärtet wird. Das aus dem Sorelzement stammende überschüssige Magnesiumchlorid wird anschließend mit Wasser ausgelaugt. Sorelzementkunststeine können durch Kupferpulverzusatz auch wasserfest gemacht werden und erhalten fast die guten Eigenschaften der Betonwerksteine aus hochwertigem Beton. Sorelzement wird aus gebrannter Magnesia (Magnesiumoxid) und etwa 23prozentiger Magnesiumchloridlauge im Verhältnis 2,5 bis 4 Teile Magnesiumoxid zu 1 Teil Lauge hergestellt. Das Gemisch erhärtet steinartig.

Wird in hochwertigen Beton z. B. hühnereigroßer Kies eingelagert und nach dem Erhärten dieser Kunststein in Platten gesägt und poliert, so kann man Steinplatten erhalten, die neben einem sehr gefälligen Aussehen (helle Quarzscheiben in dunklerem Bindemittel) eine sehr hohe Abriebfestigkeit besitzen. Kunststeine werden auf ihre Maßhaltigkeit, Druck- oder Biegezugfestigkeit, auf Wasseraufnahmevermögen, Abschleifverlust usw. geprüft und erhalten nicht selten Eigenschaften, die denen der Natursteine weit überlegen sind, ohne aber die Verwendung von Natursteinen als Werkstein ganz auszuschließen.


Zement
Füllstoffe
Zuschläge
Farbstoff
Wasser
mischen
erhärten
formen
sägen
Stahlblattsäge
polieren

DAS MAUERN

Mauersteine sind den Menschen seit Jahrtausenden bekannt, noch heute können wir gemauerte Bauwerke der alten Ägypter, Babylonier, Griechen und Römer bewundern. Die Herstellung von gebrannten Mauersteinen, vor allem von Ziegelsteinen, wurde in ganz Europa von den Römern übernommen.

Mauern bedeutet Herstellung von Baukörpern aus Stein, Stampf- oder Gußmasse. Zum Mauern selbst werden an wichtigsten Werkzeugen die Kelle (zum Verarbeiten des Mörtels), das Senklot (zum senkrechten Hochführen der Mauern), der Maurerhammer (zum Bearbeiten der Steine) und evtl. die Wasserwaage (zum Nachprüfen der Waagerechten und Senkrechten) benötigt. Die Baukörpergröße und -ausführung muß sich nach der Beschaffenheit, der Höhe, der Belastung und der Festigkeit des verwendeten Baustoffes richten. Die Mauern eines Gebäudes sollen genügend standsicher sein und ausreichenden Wärme-, Feuchtigkeits-, Schall- und Feuerschutz aufweisen. Die Mindestdicke belasteter Außenwände ist bis auf wenige Ausnahmen (z. B. Fachwerkwände) auf 24 cm festgelegt. Unterschieden wird je nach verwendetem Baustoff und Ausführung zwischen folgenden Mauerarten:

1. Mauerwerk aus natürlichen Steinen (Bruchstein-, Schicht-, Zyklopen-, Quader- und Mischmauerwerk; vgl. Abb. 1);
2. Ziegelmauerwerk (aus Poren-, Langloch-, Hochloch-, Voll- und Vormauerziegeln sowie aus Klinkern; Formate und Formatverhältnisse vgl. Abb. 2);
3. Mauerwerk aus Beton oder Betonsteinen (wie Bims-, Steinkohlenschlacken-, Ziegelsplittbeton- und Leichtbetonhohlblock-, Leichtbetonvoll-, Gasbeton- und Schaumbetonsteinen);
4. Leichte Trennwände (wie Stahlstein-, Glasstein-, Rabitz-, Platten- und Gerippewände; vgl. Abb. 6);
5. Sondermauerwerk (wie Kamine und Schornsteine).

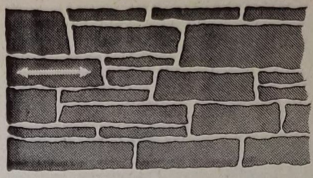
Beim Mauerwerk aus natürlichen Steinen muß auf guten Steinverband und vor allem auf schichtgerechtes Mauern geachtet werden, d. h., die Steine sollen so vermauert werden, wie sie in der Natur gelagert sind, damit sie ein schönes und den statischen Erfordernissen entsprechendes Mauerwerk ergeben (Abb. 1). Die Fugen sollen höchstens 3 cm dick sein; als Mörtel eignet sich Kalk- oder Kalkzementmörtel am besten.

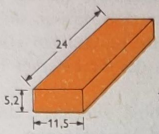
Ziegelmauerwerk muß nach bestehenden Verbandsregeln ausgeführt werden; die wichtigsten Verbände sind der Block- und der Kreuzverband (Abb. 3 u. 4). Mauerziegel werden aus Ton, Lehm oder tonigen Massen gebrannt (s. S. 274). Sind sie frostbeständig, heißen sie Vormauerziegel, sind sie bis zur Sinterung gebrannt und frostbeständig, so heißen sie Klinker (diese müssen außerdem ein Raumgewicht von rd. 1,9 kp/dm³ und eine Druckfestigkeit von 350 kp/dm² haben).

Für Bauwerke, die eine ausreichende Wärmedämmung erfordern (Wohnungsbau) und die schnell und preiswert ausgeführt werden sollen, finden z. B. Leichtbeton-, Schaumbeton- und Gasbetonsteine Verwendung. Allgemein nennt man diese Steine Hohlblocksteine. Sie besitzen Luftkammern und sind verhältnismäßig groß (Abb. 5). Die porigen mineralischen Zuschlagstoffe gewährleisten eine gute Wärmedämmung (s. S. 296).

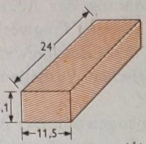
Leichte Trennwände müssen mit den umgebenden Bauteilen standsicher verbunden werden. Dies geschieht durch Schlitze oder Verankerung der Bewehrung des anliegenden Bauteils. Die Wanddicken ohne Putz betragen zwischen 5 und 11,5 cm.

Abb. 1 Bruchsteinmauerwerk

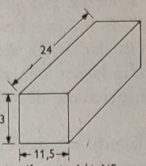




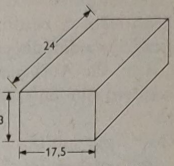
Dünnformat DF



Normalformat NF



1 1/2 Normalformat 1 1/2 NF



2 1/4 Normalformat 2 1/4 NF

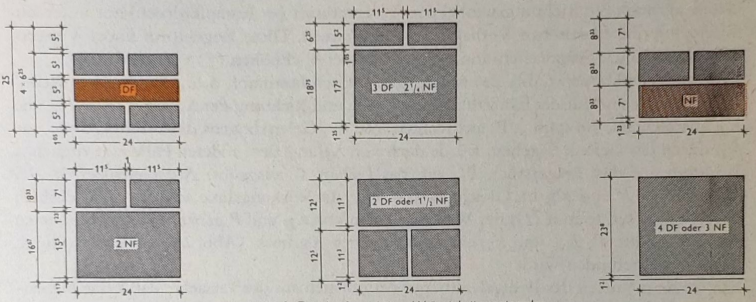


Abb. 2 Ziegelmaße und ihre Abhängigkeit voneinander

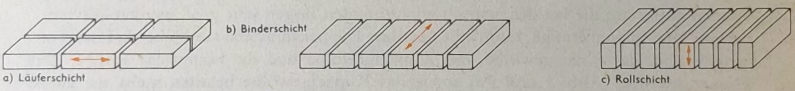


Abb. 3 Mauerschichten

Abb. 4 Verbände

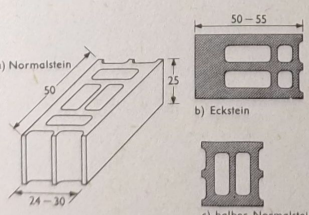


Abb. 5 Hohlblockstein

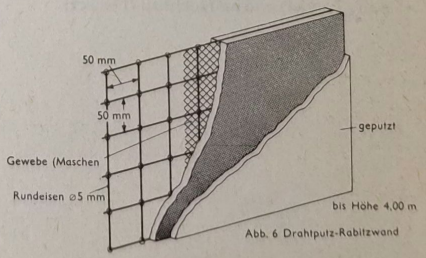


Abb. 6 Drahtputz-Rabitzwand

BOGEN UND GEWÖLBE

Bogen und Gewölbe sind Tragwerke mit gekrümmter Stabachse. Verschiedene Tragwerke sind statisch bestimmt, d. h., zur Bestimmung der Auflagerkräfte reichen die Gleichgewichtsbedingungen aus der Statik aus. Andere Tragwerke sind statisch unbestimmt, d. h., die Auflagerkräfte lassen sich aus den Gleichgewichtsbedingungen allein nicht, sondern nur unter Zuhilfenahme des elastischen Verhaltens des Tragwerkes bestimmen.

Gelenklose *Bogen* mit Flächenlagern, wie das Tonnengewölbe der Abb. 1, sind sogar dreifach statisch unbestimmte Tragwerke, d. h., am Auflager sind sowohl Angriffspunkte und Größe als auch die Richtungswinkel der Auflagerkraft (= Kämpferdruck) nur unter Zuhilfenahme des elastischen Verhaltens zu bestimmen. Diese Bogenform findet Verwendung bei kleinen Stützweiten von 1–25 m und bei Stichhöhen (f) von etwa $L/8$.

Der Dreigelenkbogen (Abb. 2a) ist dagegen statisch bestimmt, d. h., die Gleichgewichtsbedingungen sind für die Ermittlung von Größe und Richtung der Auflagerkräfte K_A und K_B ausreichend. So muß z. B. am rechten Teil des Gelenkbogens die Wirkungslinie von K_B durch das Gelenk C gehen, würde doch von K_B in jedem anderen Falle eine drehende Wirkung auf das Trägerstück BC um das Gelenk C ausgeübt. Am Gelenkstück AC müssen K_A, P und K_B im Gleichgewicht sein; die Wirkungslinie von K_A muß deshalb durch den Schnittpunkt (D) der Wirkungslinien von K_B und P gehen. Außerdem müssen die drei Kräfte P, K_A und K_B ein geschlossenes Krafteck (Abb. 2b) bilden, wodurch ihre Größe gefunden wird.

Ein weiterer Vorteil des Dreigelenkbogens ergibt sich aus der Tatsache, daß keine Nebenspannungen aus Wärmeschwankungen, Kriechen, Schwinden sowie Widerlagerverschiebungen auftreten, die bei den statisch unbestimmten Bogen sehr groß werden können.

Gewölbe sind bogenförmige, räumliche Gebilde. Die bekanntesten Gewölbe sind das Tonnengewölbe, das Kreuzgewölbe, das Kuppelgewölbe und die böhmische Kappe. Das Tonnengewölbe (Abb. 1 und 3a) sowie das Kuppelgewölbe belasten meist die ganze Länge des Widerlagers (z. B. Mauer), während das Kreuzgewölbe (Abb. 3b) und die Kappe (Abb. 3d) meist nur einzelne Auflagerpunkte belasten.

Gemauerte Bogen und Gewölbe werden — bei den Auflagern beginnend und mit dem Schlußstein (keilförmiger Stein) in Bogenmitte endend — auf Schalung ausgeführt. Damit erhält der Bogen seine Standfestigkeit, die einzelnen Steine können nach unten nicht ausweichen, wegen ihres eigenen Gewichtes und der Auflast auch nicht nach oben. In alter Zeit wurden Bogen und Gewölbe ohne Mörtel gebaut; das erforderte eben geschliffene Flächen. Heute wird Mörtel verwendet, die Fugenweite darf jedoch 3 cm nicht überschreiten. Abgewandelte Bogenformen finden sich im Brückenbau (Bogenbrücken), im Tiefbau (Tunnel) und im Hochbau (Dächer).

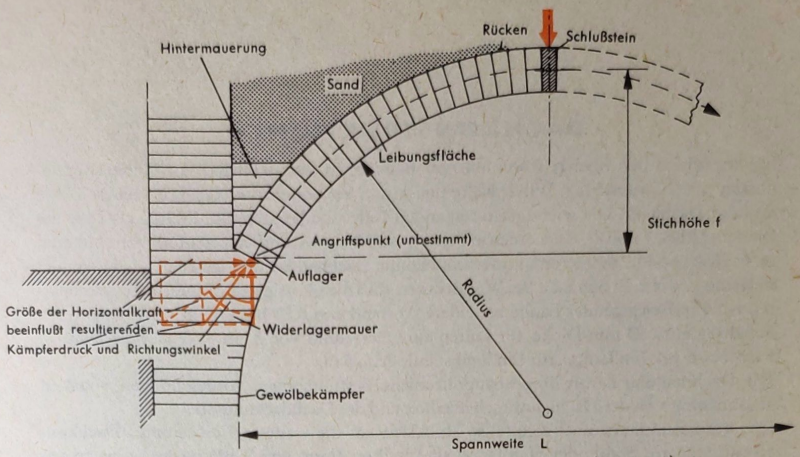


Abb. 1 Tonnengewölbe (statisch dreifach unbestimmt)

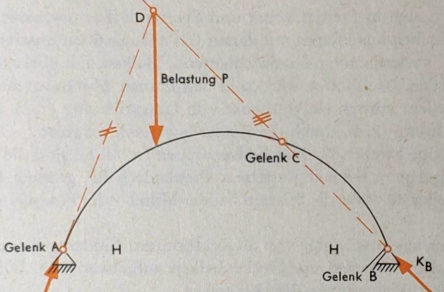


Abb. 2 a Dreigelenkbogen als statisch bestimmtes System

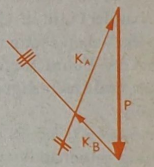
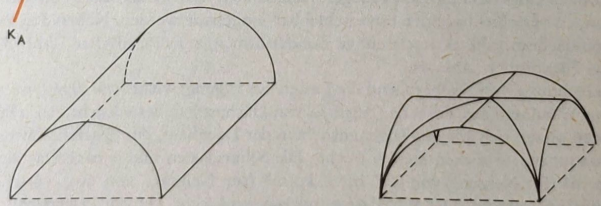


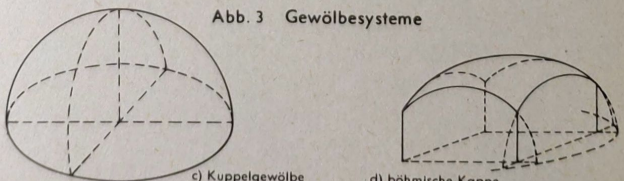
Abb. 2 b Krafteck zu Abb. 2 a



a) Tonnengewölbe

b) Kreuzgewölbe

Abb. 3 Gewölbesysteme



c) Kuppelgewölbe

d) böhmische Kappe

DACHKONSTRUKTIONEN

Dächer bilden den oberen Abschluß von Bauwerken und schützen vor Witterungseinflüssen wie Niederschlag, Wind, Kälte und Hitze. Sie bestehen aus den tragenden Teilen und der Dachhaut. Die wichtigsten tragenden Teile sind Sparren und Pfetten als Teile des Binders (Abb. 1 und 2). Sie werden in ihrer Ausbildung wesentlich bestimmt vom Material (z. B. Holz, Stahl, Stahlbeton), von Dachneigung, Dachhautart und -gewicht sowie von der Belastung (wie z. B. Schnee). Bei Wohnbauten sind die günstigsten Abmessungen für Sparren rd. 4 m freitragender Länge bei einem Abstand von 0,80 bis 1,00 m voneinander, für Schalung etwa 24 mm Dicke, für Latten ein Querschnitt von 3 cm × 5 cm oder 4 cm × 6 cm bei 6 bis 7 m Länge, für Binderabstände etwa 5 m.

Die Dachneigung ist oft durch baupolizeiliche Bestimmungen vorgeschrieben, sonst ist sie abhängig von der Dachhautbeschaffenheit und der Dachdeckungsart.

Das vom Zimmermann hergestellte Holzdach hat die weiteste Verbreitung. Dachkonstruktionen aus Stahl oder Stahlbeton sind in ihrer Form und Wirkungsweise denen aus Holz ähnlich.

Die Holzdachtragwerke lassen sich in Pfettendächer und Sparrendächer unterteilen.

Die *Pfettendächer* (Abb. 1) bestehen aus Pfetten mit darauf frei aufliegenden Sparren. Die Sparren wirken wie einfache, auskragende oder durchlaufende Balken, die überwiegend auf Biegung beansprucht werden. Die Pfetten werden in bestimmten Abständen aufgelagert (z. B. auf Binder), außerdem müssen sie konstruktiv in Längsrichtung (z. B. durch Kopfbänder) und in Querrichtung (z. B. durch die Binder) ausgesteift werden.

Beim einfachen Pfettendach ohne Streben für kleine Hausbreiten (< 10 m) sind die Sparren bei der Fußpfette fest aufgelagert, beim abgestrebten Pfettendach für größere Hausbreiten und Dachneigungen über 40° sind die Sparren bei der Mittel- oder Firstpfette aufgelagert.

Sparrendächer (Abb. 2) bestehen aus einer Folge von dreieckförmigen Bindern, die aus den gelenkig miteinander verbundenen Sparren und Deckenbalken aufgebaut sind. Die Abstände der einzelnen Binder sind abhängig von der Balkenlage.

Für kleine Hausweiten genügt das reine Sparrendach, während für größere Hausweiten durch Einfügen eines oder mehrerer Riegel (Kehlbalken) das *Kehlbalkendach* entsteht. Kehlbalken können verschiebbar oder unverschiebbar eingebaut werden. Neben den Pfetten- und Sparrendächern gibt es noch einige Sonderformen, z. B. Pultdächer (Abb. 3) oder Shed- bzw. Sägedächer (Abb. 4).

Bei der Berechnung von Dächern sind die Lasten aus Eigengewicht (ständige Lasten), aus Schnee, aus Wind und aus Verkehr (Begehen von Dächern) zu berücksichtigen. Die ständigen Lasten setzen sich aus den Eigengewichten der Dachhaut, der Sparren, Pfetten und Binder zusammen, sie wirken stets lotrecht. Die Schneelasten sind je nach Dachneigung von 75 kp/m² (für Neigung von 20°) bis 0 kp/m² (für Neigung von 60°) verschieden, auch sie wirken lotrecht. Die Windlasten wirken senkrecht auf die Dachfläche, während die Verkehrslasten wieder lotrecht wirken.

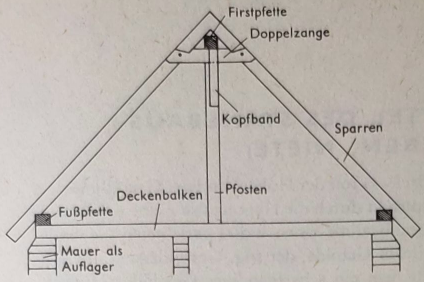


Abb. 1
Einfacher Pfettendachstuhl

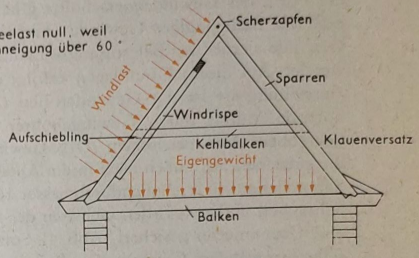


Abb. 2
Einfaches Sparrendach

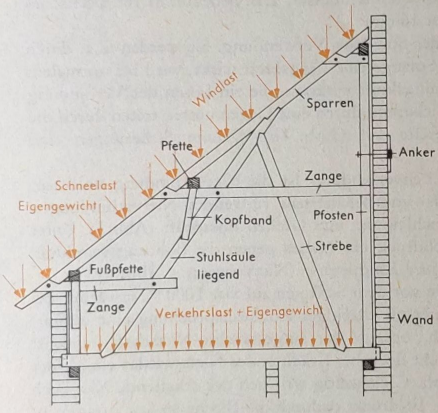


Abb. 3
Pultdach

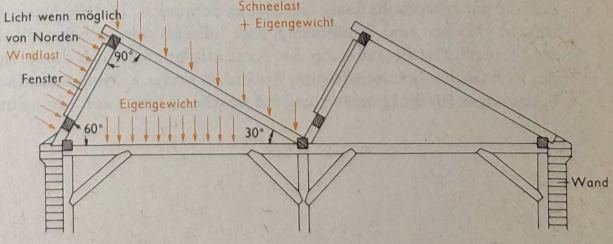


Abb. 4
Shed- oder Sägedach

VERBINDUNGSMITTEL DES STAHLBAUS I (SCHRAUBEN, NIETE)

Durch Aufwickeln eines rechtwinkligen Dreiecks mit der Höhe h und der Grundlinie $d \cdot \pi$ auf einem Zylinder vom Durchmesser d entsteht durch die Hypotenuse c eine Schraubenlinie (Abb. 1). Führt man auf dieser Schraubenlinie einen radial gerichteten Gewindequerschnitt entlang, so entsteht ein räumliches Gebilde, der sog. Gewindegang. Je nach der Form des Gewindequerschnitts erhält man ein scharfgängiges Gewinde (Dreieck) oder ein flachgängiges Gewinde (Rechteck- oder Trapezform; Abb. 2). Scharfgängige Gewinde werden bei Befestigungsschrauben, flachgängige bei Bewegungsschrauben verwendet. Auf diesen Grundlagen erfolgt die Herstellung der Schrauben. Die günstigste Herstellungsart ist das Gewinderollen (Abb. 3). Meistens wird die zur Schraube gehörende Mutter durch Gewindebohrer gebohrt. Im Stahlbau finden fast nur noch Schrauben mit metrischem DIN-Gewinde Verwendung; bezeichnet werden dabei die einzelnen Schrauben nach ihrem Außendurchmesser, z.B. bedeutet M 16: metrisches Schraubengewinde, Außendurchmesser 16 mm.

Schrauben finden auf allen Gebieten des Stahlbaus Verwendung. Sie werden u. a. durch eine Gegenmutter gesichert (Abb. 4). Solange eine Längskraft wirkt, wird bei normalem selbsthemmendem Gewinde eine Reibungskraft wirksam, die ein Lösen der Verbindung unmöglich macht (Abb. 4a); bei der Sicherung durch eine Gegenmutter treten durch die Verspannung zusätzliche Reibungskräfte auf (Abb. 4b). Weitere Sicherungen sind Federringe oder Splinte.

Im Gegensatz zu der lösbaren Schraubenverbindung ist die Nietverbindung unlösbar. Niete werden oft im Brücken-, Schiffs- und Behälterbau verwendet. Nietverbindungen werden rechnerisch auf Abscheren, Lochleibung und Gleiten überprüft (Abb. 5). Unter Lochleibung versteht man den Anpreßdruck des Nietes gegen die Bohrungswandung. Unterschieden wird zwischen Warm- und Kaltnietung (Nietvorgang s. Abb. 6).

Bei der Warmnietung werden die Niete vor dem Schlagen auf fast 1000 °C erwärmt. Bei Abkühlung des Nietschafts erfolgt unter gleichzeitiger Zugbeanspruchung eine geringfügige Querschnittsverminderung, d. h., obwohl der aufgestauchte Nietschaft zunächst das Nietloch prall ausgefüllt hat, entsteht doch bei Erkalten des Niets wieder ein kleiner Spielraum zwischen Leibung und Schaft. Gleichzeitig will sich der erkaltende Niet auch in der Längsrichtung zusammenziehen. Er drückt dadurch die Bleche so fest zusammen, daß die entstehende Reibung ein Gleiten verhindert. Die Nietlöcher werden entweder gestaucht (Löcher sind kegelförmig, aber billiger) oder gebohrt (Löcher sind zylindrisch, aber teurer). Die Bezeichnung der Niete erfolgt einheitlich durch Sinnbilder mit Angabe des Rohnietdurchmessers in mm. Außerdem sind u. a. Mindestabstände und die zulässigen Spannungen für die Untersuchung auf Abscheren bzw. Lochleibung in Normen festgelegt.

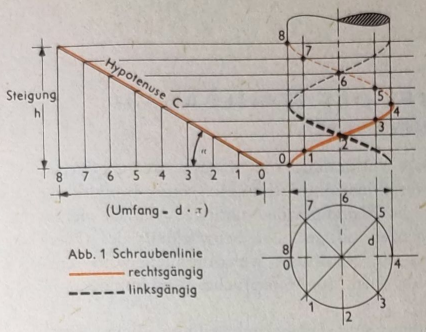


Abb. 1 Schraubenlinie
rechtsgängig
linksgängig

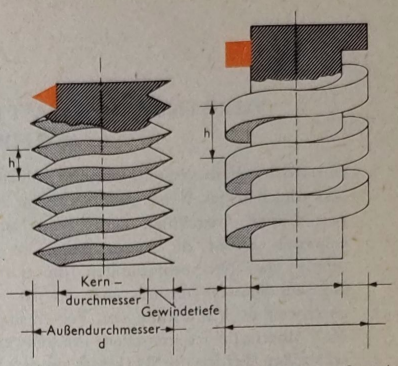


Abb. 2a Scharfgängiges Gewinde Abb. 2b Flachgängiges Gewinde

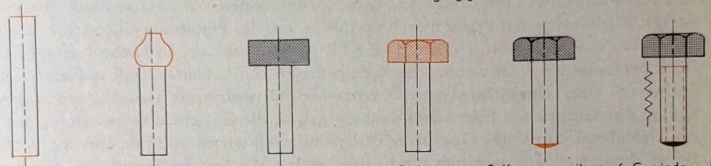
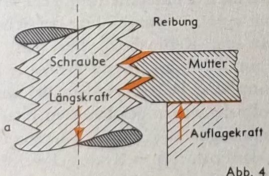


Abb. 3 Herstellung der Schraube



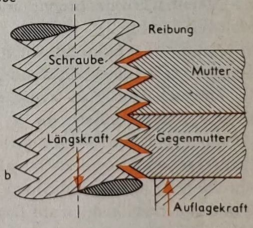


Abb. 4 Schraubensicherung

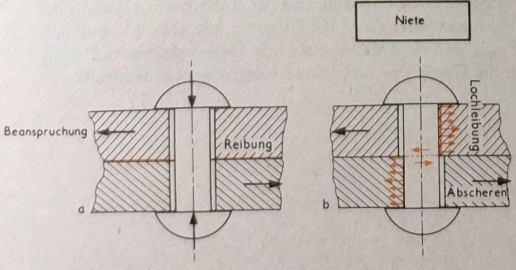


Abb. 5 Kräfte am Niet

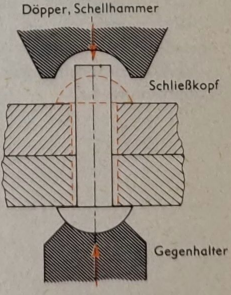


Abb. 6 Nietvorgang

VERBINDUNGSMITTEL DES STAHLBAUS II (SCHWEISSEN)

Unter Schweißen versteht man die unlösbare Verbindung von Metallteilen aus gleichen oder gleichartigen Werkstoffen durch Stoffverschmelzung (Stoffschluß) unter Einwirkung von Wärme. Gegenüber dem Nieten ist die Planungsarbeit geringer, die Gewichtsersparnis größer, die Konstruktion im ganzen billiger. Die Schwächung des Querschnitts bei Nietverbindungen, die durch die Nietlöcher hervorgerufen wird, entfällt bei Schweißverbindungen, so daß vor allem zugbeanspruchte Verbindungen in geschweißter Ausführung von Vorteil sind.

Man unterscheidet zwischen Preßschweißung und Schmelzschweißung. Beim Preßschweißen werden die Werkstoffe an den Verbindungsstellen hoch erhitzt und im plastischen Zustand unter Druck oder Schlag meist ohne anderen Werkstoffzusatz zusammengefügt. Zur Gruppe der Preßschweißung zählen u.a. das Punktschweißen (Abb. 1a) und das Nahtschweißen (Abb. 1b) für Bleche bis zu einer maximalen Dicke t von 1,5 mm. Beim Schmelzschweißen werden die Kanten der zu verbindenden Teile aufgeschmolzen und durch einen eingeschmolzenen Zusatzwerkstoff meist ohne Druckanwendung vereinigt. Zur Gruppe der Schmelzschweißung gehört die Gasschmelzschweißung, bei der der Grundstoff durch eine Gasflamme örtlich aufgeschmolzen und mit dem abgeschmolzenen Zusatzwerkstoff vereinigt wird, wobei durch Mischen des Brenngases mit Sauerstoff Temperaturen bis 2300° C erzeugt werden; weiterhin gehört dazu die elektrische Lichtbogenschweißung, bei der der Lichtbogen (s. S. 130) meist zwischen Werkstück und Metallelektrode brennt und den Grundwerkstoff örtlich auf- und die Elektrode abschweißt (Abb. 2).

Die Dicke a einer Schweißnaht wird im allgemeinen nach der kleinsten zur Verschweißung kommenden Profilstabdicke oder Blechdicke t mit $a = 0{,}7\,t$ ausgeführt. Bei Schweißungen unterscheidet man zwischen Stumpfnähten und Kehlnähten. Bei den Stumpfnähten (Abb. 4) müssen die V- und U-Nähte gut durchgeschweißt werden; bei den X-Nähten muß die Wurzel stets von Schlacke sorgfältig befreit werden. Bei den Kehlnähten verwendet man als Stirnkehlnaht eine Vollnaht wegen des besseren Kraftflusses, während bei Flankenkehlnähten eine Flachnaht günstiger ist (Abb. 3). Die Spannungen, die in den Schweißnähten auftreten, werden nach der Formel σ = Kraft/Schweißfläche = P/F_{sch} berechnet. Dabei ist P die Größe der Stabkraft, die angeschlossen werden soll. Die Fläche F_{sch} setzt sich aus der Länge l der Schweißnähte und der rechnerischen Dicke a der Nähte zusammen, also F_{sch} = Summe aller $l \cdot a$. Bei Biegung (die selten vorkommt) wird die Spannung $\sigma = M/W_{sch}$, wobei M das auftretende Biegemoment und W_{sch} das Widerstandsmoment des in die Ebene des Anschlusses umgeklappten Schweißnahtquerschnitts ist.

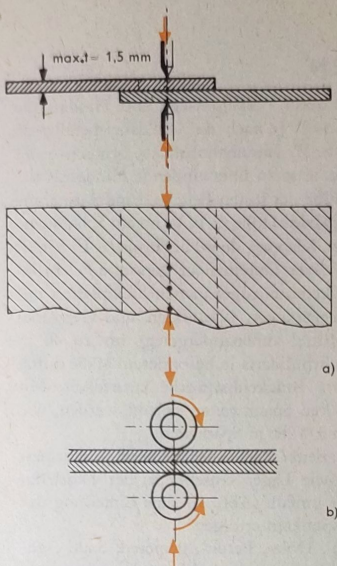


Abb. 1 Punktschweißen (a) und Nahtschweißen (b)

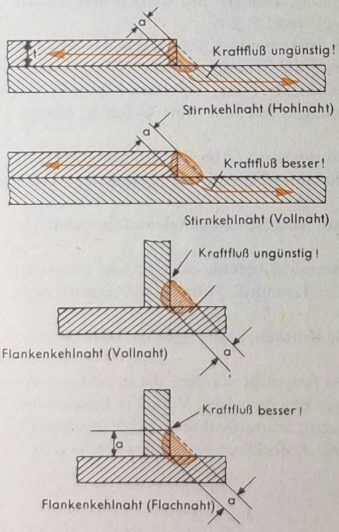


Abb. 3 Kehlnähte

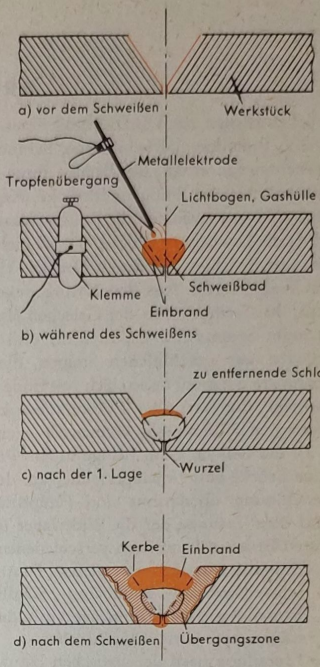


Abb. 2 Schweißvorgang (Beispiel V-Naht) durch Lichtbogenschweißen

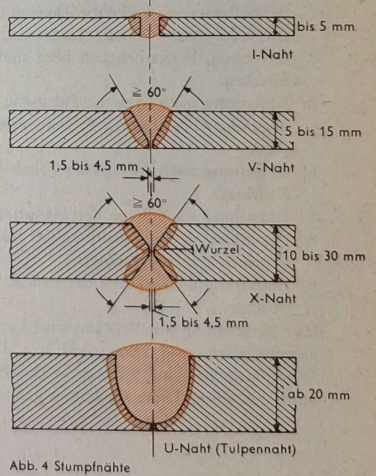


Abb. 4 Stumpfnähte

BRÜCKEN

Brücken dienen zur Überführung eines oder mehrerer Verkehrswege über Hindernisse (wie z. B. andere Verkehrswege, Schluchten, Flüsse). Je nach Art der dabei beteiligten Verkehrswege erhält die Brücke ihren Namen, z. B. Eisenbahnbrücke, Straßen- oder Autobahnbrücke, Fußgängerbrücke, Kanalbrücke. Das zu überwindende Hindernis bestimmt im wesentlichen die Stützweite und die Höhe der festen Brücke. Eine Ausnahme bildet die bewegliche Brücke, die bei nicht ausreichender Höhe (z. B. wenn ein Schiffahrtsweg überbrückt wird) durch Drehen, Heben oder Klappen dem Hindernis (z. B. Schiff) den Weg freigibt. Aus den Naturbrücken alter Völker (aufeinander gepackte Felsbrokken), den Steinbrücken der Griechen (Balkenbrücken aus zugehauenen Steinplatten mit geringer Spannweite bis zu 2 m) und den Römerbrücken (Viadukten und Gewölbebrücken aus geschliffenen Steinen, die ohne Mörtel aufeinandergelegt bis zu 40 m Spannweite hatten) haben sich seit Ende des 18. Jahrhunderts in besonderem Maße durch bauliche und statische Erkenntnisse komplizierte Brückenbauwerke entwickelt. Mit modernen Hilfsmitteln können Brücken mit größten Spannweiten gebaut werden, wie z. B. die Golden Gate Bridge in San Francisco mit 1280 m Spannweite.

Eine Brücke besteht hauptsächlich aus drei Teilen: dem *Überbau*, der die unter ihm liegende Öffnung überspannt und Haupttragwerk sowie Lager einschließt, der Fahrbahn und dem *Unterbau*, der die Widerlager und Pfeiler umfaßt (Abb. 1). Eine Einteilung der festen Brücken kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen:

1. Einteilung nach verwendetem Baustoff: Stein-, Holz-, Beton-, genietete Stahl-, geschweißte Stahl-, Stahlbeton-, Stahlbeton-Verbundbrücken und Spannbetonbrücken.
2. Einteilung nach Hauptträgerausbildung: Vollwandträger-, Pfostenträger-, Fachwerkträger- und Gitterträgerbrücken.
3. Einteilung nach der statischen Bauweise (Abb. 2): Brücken mit statisch bestimmten oder statisch unbestimmten Hauptträgern (vgl. auch S. 286).
4. Einteilung nach Hauptträgerausbildung und Stützungsart (Abb. 1, 2 u. 3): einfache Balkenbrücken, Balkenbrücken auf mehreren Stützen ohne Gelenke (Durchlaufträger) oder mit Gelenken (Gerberträger), Bogenbrücken ohne, mit einem oder mit zwei Gelenken, Bogenbrücken über mehrere Öffnungen mit und ohne Gelenke, Hängebrücken.
5. Einteilung nach Lage der Fahrbahn zu den Hauptträgern (Abb. 4): Brücken mit obenliegender (Deckbrücken), halbversenkter oder untenliegender (Trogbrücken) Fahrbahn.
6. Einteilung nach Anzahl der Fahrbahngeschosse (eingeschossige oder zweigeschossige Brücken).
7. Einteilung nach Lage der Hauptträger im Grundriß (gerade oder schiefe Brücken).
8. Einteilung nach Ausbildung der Hauptträger im Grundriß (Brücken mit geraden oder gekrümmten Hauptträgern).
9. Einteilung nach Zweck der Brücke (bleibende Brücken, Not-, Arbeits-, oder Behelfsbrücken).

Zur Berechnung der Brücken sind Lastannahmen festgelegt worden, die in Normen zusammengefaßt sind. Dabei sind u. a. Lastfälle aus Eigengewicht, Verkehr, Temperatur, Wind, Kriechen und Schwinden (bei Betonbrücken), Stützensenkung und Vorspannung zu untersuchen. Diese Berechnungen stellen große Anforderungen an den Statiker.

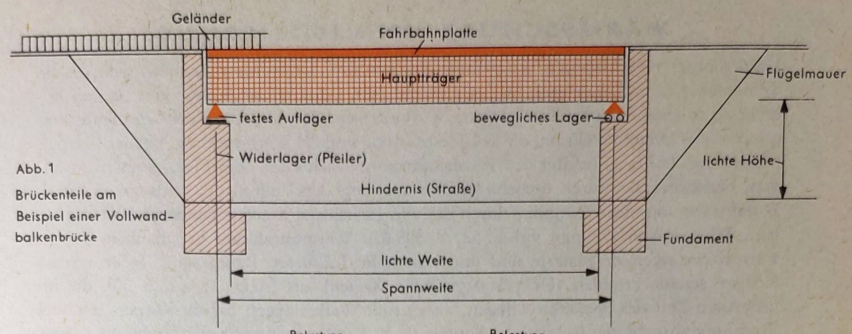
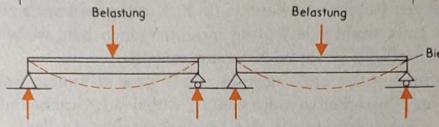
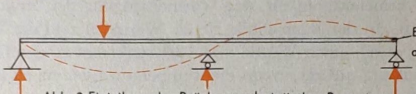


Abb. 1
Brückenteile am Beispiel einer Vollwandbalkenbrücke

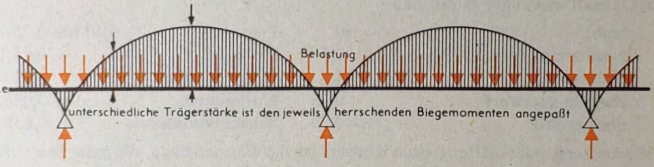


a) Zwei Balken auf 3 Stützen (statisch bestimmt)

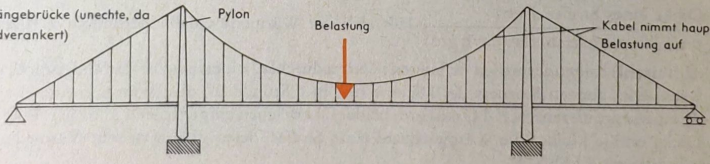


b) Ein Balken (Durchlaufträger) auf 3 Stützen (statisch unbestimmt)

Abb. 2 Einteilung der Brücken nach statischer Bauart



a) Bogenbrücke



b) Kabelhängebrücke (unechte, da nicht erdverankert)

Abb. 3 Einteilung der Brücken nach Hauptträgerausbildung

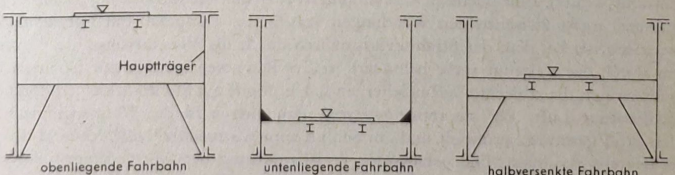


Abb. 4 Einteilung der Brücken nach Lage der Fahrbahn

WÄRMESCHUTZ UND ISOLIERUNG

Zwei Körper verschiedener Temperatur gleichen ihre Temperatur aus bzw. nehmen die Temperatur ihrer Umgebung an; es entsteht eine Wärmeübertragung von Stellen höherer zu solchen niederer Temperatur. Man unterscheidet drei Arten der Wärmeübertragung: die Wärmekonvektion, die Wärmestrahlung und die Wärmeleitung. Bei der Wärmekonvektion (Abb. 1) erfolgt der Wärmetransport durch Gas- oder Flüssigkeitsströmungen, hervorgerufen durch örtliche Erwärmung und den Einfluß der Schwerkraft (z. B. Durchwärmung eines Zimmers durch die von Heizkörpern aufsteigenden Luftströmungen, Warmwasserheizung; vgl. S. 52, S. 308 ff.). Wärmestrahlung ist unabhängig von wärmeübertragender Materie und findet auch im luftleeren Raum statt. Jeder warme Körper sendet Strahlen (elektromagnetische Wellen) aus (Abb. 2; vgl. S. 30), die im infraroten Teil des Spektrums liegen, also große Wellenlängen haben. Körper, die viel Strahlung absorbieren (schlucken) können (z. B. Ruß), geben auch viel Strahlung wieder ab, während z. B. Luft strahlende Wärme hindurchgehen läßt, wobei sie sich durch die Strahlung nur geringfügig erwärmt (Sonnenstrahlen).

Bei der Wärmeleitung erfolgt ein Transport von Wärme im Innern fester Körper (Abb. 3) und innerhalb von Flüssigkeiten oder Gasen, wobei die Geschwindigkeit der Wärmeleitung von der Wärmeleitfähigkeit, der Wärmekapazität der Stoffe und der Temperaturdifferenz abhängt. In der Bautechnik ist die Wärmeleitzahl die Wärmemenge (kcal), die in 1 Stunde (h) durch einen Würfel von $1\,m^3$ senkrecht zu den Oberflächen während 1 Stunde Dauerheizung strömt, wenn die Temperaturdifferenz zwischen beiden gegenüberliegenden Oberflächen 1 Grad beträgt.

Wärmeleitzahlen einiger Baustoffe:

Stahl	~ 50	Putz	0,60 bis 0,75
Natursteine (Granit, Marmor)	2,5	Holz	~ 0,15
Stahlbeton	~ 1,5	Holzwolleplatten 5 cm	0,07
Ziegelmauerwerk	0,75	Korkplatten	~ 0,035
Fensterglas	~ 0,70	Schaumkunststoffe	0,035

Die Wärmekapazität (kcal/grd) eines Körpers ist die Wärmemenge, die man ihm zuführen oder entziehen muß, um seine Temperatur um 1 Grad (grd) zu ändern. Aus der Beziehung:

$$\frac{\text{Dicke eines Stoffes } d \text{ (m)}}{\text{seine Wärmeleitzahl (kcal/m h grd)}}$$

läßt sich der Wärmedurchlaßwiderstand (= Wärmedämmzahl) folgendermaßen definieren: Wärmedurchlaßwiderstand ist der Widerstand, den 1 qm eines ebenen Körpers der Dicke d (m) in 1 Stunde (h) dem Wärmestrom bei einer Temperaturdifferenz von 1 Grad (grd) beider Oberflächen entgegensetzt, d.h., je größer die Dicke und je kleiner die Wärmeleitzahl eines Stoffes, desto größer ist sein Wärmedurchlaßwiderstand (Abb. 4).

Der beste Wärmeisolator ist das Vakuum (in Verbindung mit einem wirksamen Wärmestrahlungsschutz). Eine wichtige Anwendung ist z. B. die Thermosflasche, die ein doppelwandiges, meist zwischen den Wandungen versilbertes Glasgefäß mit luftleerem Zwischenraum ist, bei dem der Strahlungsaustausch durch die Versilberung, die Wärmeleitung durch das Vakuum stark behindert ist. Im Bauwesen werden zur Isolation Baustoffe benutzt, die schlechte Wärmeleiter sind, d. h. Stoffe mit in vielen kleinen Poren eingeschlossener Luft. Bei zusammengesetzten Bauteilen wird die Wärmedämmzahl für jeden Stoff gesondert ermittelt und am Schluß zum Wärmedurchlaßwiderstand des ganzen Bauteils summiert. Die Berechnung und Ermittlung der Wärmedämmstoffe ist für Deutschland durch Normen festgelegt.

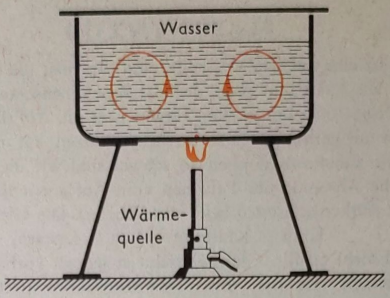


Abb. 1 Wärmekonvektion

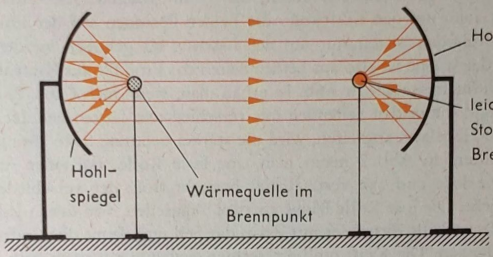


Abb. 2 Wärmestrahlung

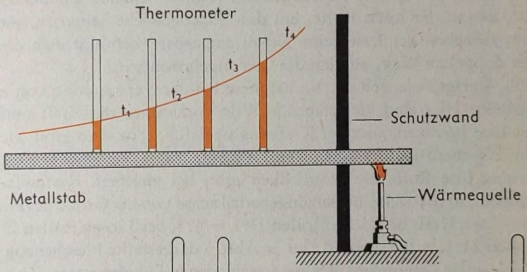


Abb. 3 Wärmeleitung

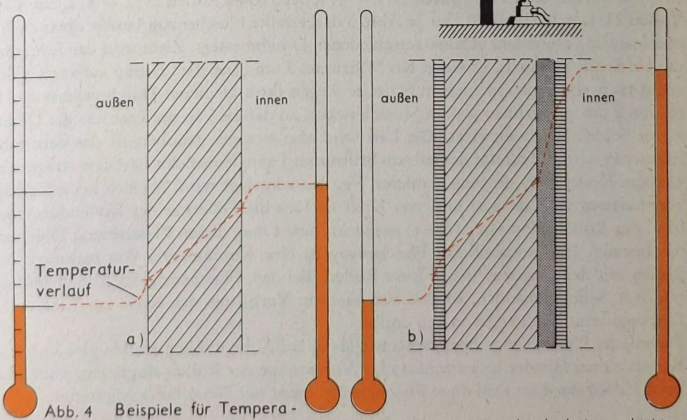


Abb. 4 Beispiele für Temperaturverläufe an und in Wänden ohne (a) und mit (b) Isolationsschichten

FLASCHENZUG

Der Flaschenzug ist eine einfache Maschine, mit der man die zu übertragende Arbeit, d.h. das Produkt aus Kraft und Weg, in ihrer Zusammensetzung zugunsten der Kraft auf Kosten des Weges (oder umgekehrt) verändern kann. Auf diese Weise wird es möglich, große Lasten mit geringerer Kraft zu heben. Sitzen auf einer Seite einer Wippe zwei Personen, die zusammen doppelt so schwer sind wie die Person auf der anderen Seite, und sind die Abstände der Personen vom Auflagepunkt gleich groß, so sinkt die Wippe auf der stärker belasteten Seite ab (Abb. 1a). Die Gleichgewichtsbedingung

$$\text{Kraft} \times \text{Kraftarm} = \text{Last} \times \text{Lastarm}$$

ist in diesem Fall nicht erfüllt. Gleichgewicht ist jedoch vorhanden, wenn die beiden Personen auf der linken Seite ihren Abstand zur Mitte auf die Hälfte verkürzen (Abb. 1b). Aus Abb. 1b ist außerdem ersichtlich, daß beim Absenken der einzelnen Person auf der rechten Seite um den Kraftweg s die beiden Personen auf der linken Seite, weil sie näher am Drehpunkt sitzen, nur um den Lastweg $s/2$ gehoben werden. Auch bei einer Bewegung der Wippe ist also auf beiden Seiten das Produkt aus Kraft und Weg dasselbe. Ähnliche Verhältnisse wie in Abb. 1a erhält man, wenn man (Abb. 2) ein Seil über eine Rolle legt und die beiden Seilenden mit verschiedenen Lasten belastet. Da beide Lasten am gleichen Hebelarm angreifen, wird die stärker belastete Seite absinken.

Die Anordnung in Abb. 2 nennt man eine feste Rolle. Bei einer Anordnung wie in Abb. 3 (eine lose und eine feste Rolle) herrscht trotz der verschiedenen Belastungen Gleichgewicht. Die lose Rolle hängt an zwei Tragseilen, von denen jedes die halbe Last trägt. Die feste Rolle dient hier nur dazu, das Seil und damit die Kraftrichtung am Seilende umzulenken. Die Kraft muß am rechten Seilende nur noch halb so groß sein wie die Last an der losen Rolle, um das Gleichgewicht halten zu können. Allerdings wird zum Anheben der Last keine Arbeit eingespart, benötigt man doch am freien Seilende den doppelten Weg, um den die Last angehoben wird.

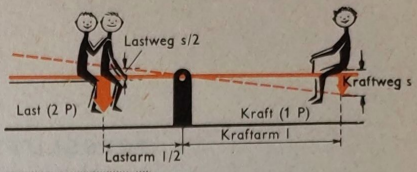
Abb. 4 zeigt, wie sich die Verhältnisse bei der Verwendung von zwei losen Rollen entwickeln: Hier sind vier tragende Seile vorhanden, die Kraft muß also nur ein Viertel der Last betragen, aber der Kraftweg ist dafür viermal so groß wie der Lastweg.

Die Flaschenzüge der Abb. 3 und 4 nennt man Potenzflaschenzüge, da jede zusätzliche weitere lose Rolle die Möglichkeit gibt, bei gleichem Kraftaufwand die Last zu verdoppeln, so daß sich Übersetzungsverhältnisse von der Größe der Potenzen der Zahl 2 ergeben (Last : Kraft bei 2 losen Rollen $2^2 : 1 = 4 : 1$, bei 3 losen Rollen $2^3 : 1 = 8 : 1$, bei 4 losen Rollen $2^4 : 1 = 16 : 1$ usw.). Der in Abb. 5 dargestellte Flaschenzug besitzt oben zwei fest miteinander verbundene Rollen verschiedenen Durchmessers. Zieht man das Seiltrumm 1 um ein Stück s abwärts, so steigt das Seiltrumm 3 um denselben Betrag aufwärts. Gleichzeitig läuft aber von der kleinen Seilrolle wegen ihres kleineren Durchmessers das Seiltrumm 2 um ein nicht so großes Stück abwärts, so daß sich an der Last nur die Differenz dieser beiden Wege auswirkt. Die Last wird also weniger gehoben als das Seiltrumm 1 abgesenkt wird. Es genügt deshalb am Seiltrumm 1 zum Heben der Last eine entsprechend kleinere Kraft, da ja dort ein größerer Weg zurückgelegt wird. Da sich beim Verhältnis von Lastweg zu Kraftweg und von Kraft zu Last die Differenz der Rollendurchmesser bzw. der Rollenhalbmesser $(R - r)$ auswirkt, nennt man diesen Flaschenzug Differentialflaschenzug. Ein gewöhnlicher Flaschenzug ist eine Kombination von mehreren festen Rollen mit der gleichen Anzahl loser Rollen. Bei dem Flaschenzug in Abb. 5 sind sechs tragende Seile vorhanden, so daß sich hier ein Verhältnis der Kraft zur Last und des Lastwegs zum Kraftweg von 1 : 6 ergibt.

Technische Flaschenzüge benutzen anstelle der Seile, die auf den Rollen gleiten können, Ketten, deren Glieder in warzenförmige Vorsprünge der Rollen eingreifen; zum schnelleren Heben der Last sind diese Flaschenzüge meist mit Getrieben ausgestattet.

Abb. 1a Kein Gleichgewicht

Abb. 1b Gleichgewicht (Kraft x Kraftarm = Last x Lastarm)



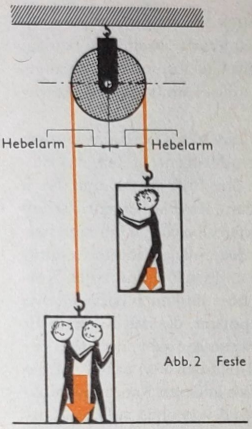


Abb. 2 Feste Rolle

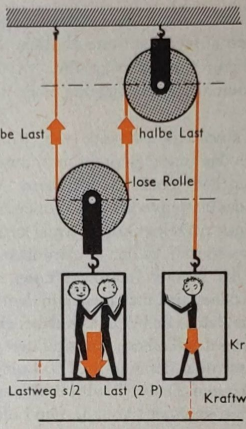


Abb. 3 Lose Rolle

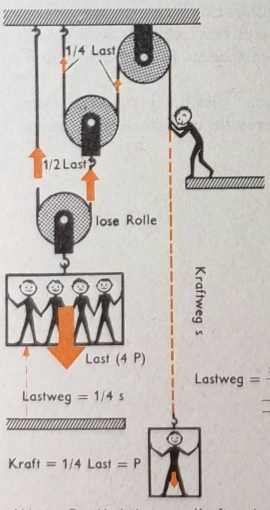


Abb. 4 Das Verhältnis von Kraft zu Last und von Kraftweg zu Lastweg

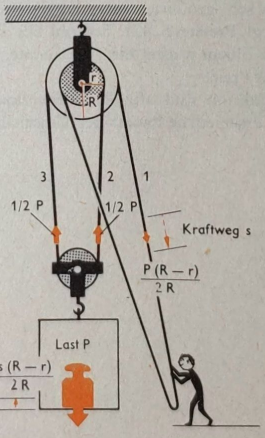


Abb. 5 Differentialflaschenzug

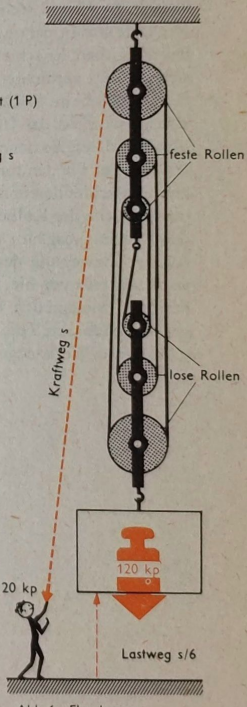


Abb. 6 Flaschenzug

PRESSLUFTHAMMER

Mit Preßlufthämmern sollen schnelle Schlagbewegungen ausgeführt werden, um Gestein zu brechen, Straßendecken aufzureißen und ähnliche Arbeiten auszuführen. Die Schläge werden durch einen Kolben (Abb. 1) ausgeführt, der in einem Gehäuse beweglich angeordnet ist und der bei seiner Abwärtsbewegung einen Schlag auf das am Gehäuse befestigte Werkzeug ausführt.

Die Luft wird mit Hilfe eines Kompressors (s. S. 46) durch einen am Griff des Gerätes angebrachten Anschluß in das Innere gepreßt, und zwar in dem Moment, in dem das Einlaßventil durch Betätigung des Hebels geöffnet wird (Abb. 2). Die Luft strömt nun durch den Ringkanal und durch das Plattenventil in den äußeren Luftraum. Das Plattenventil ist ballig ausgeführt, d. h., es kann auf seiner kugelförmig ausgebildeten Oberfläche hin- und herkippen. In Abb. 2 steht es so, daß es den Einströmkanal für den äußeren Raum freigibt. Die Luft strömt daher in den inneren Raum von unten her ein und wirft dadurch den Kolben nach oben. Er schiebt dabei die Luft, die sich in dem Raum über ihm noch befindet, vor sich her und verdichtet sie dabei. Es bildet sich dabei ein Luftpolster, das den Rückschlag des Gerätes beim Rückgang des Kolbens etwas mildert. Die zweite Aufgabe, die dabei bewältigt wird, ist das Umschalten des Ventils. Die Luft drückt nämlich von unten auf die Platte und läßt sie dabei kippen. Dadurch wird der Kanal für den äußeren Raum geschlossen und der für den inneren geöffnet (Abb. 3). Die Luft trifft nun von oben auf den Kolben und schleudert ihn nach unten auf das Ende des eingespannten Werkzeuges. Da die obere Fläche des Kolbens sehr groß ist, wird durch die Preßluft eine bedeutende Kraft auf den Kolben ausgeübt (vgl. Pressen S. 42). Sowohl bei dieser Bewegung als auch bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens strömt die verbrauchte, entspannte Luft in den Abluftraum und tritt von hier ins Freie.

In ihrer prinzipiellen Funktion sind alle Preßluftwerkzeuge gleich. Sie unterscheiden sich lediglich durch die verschiedene Bauart der Umschaltventile und die Art der angeschlossenen Werkzeuge.

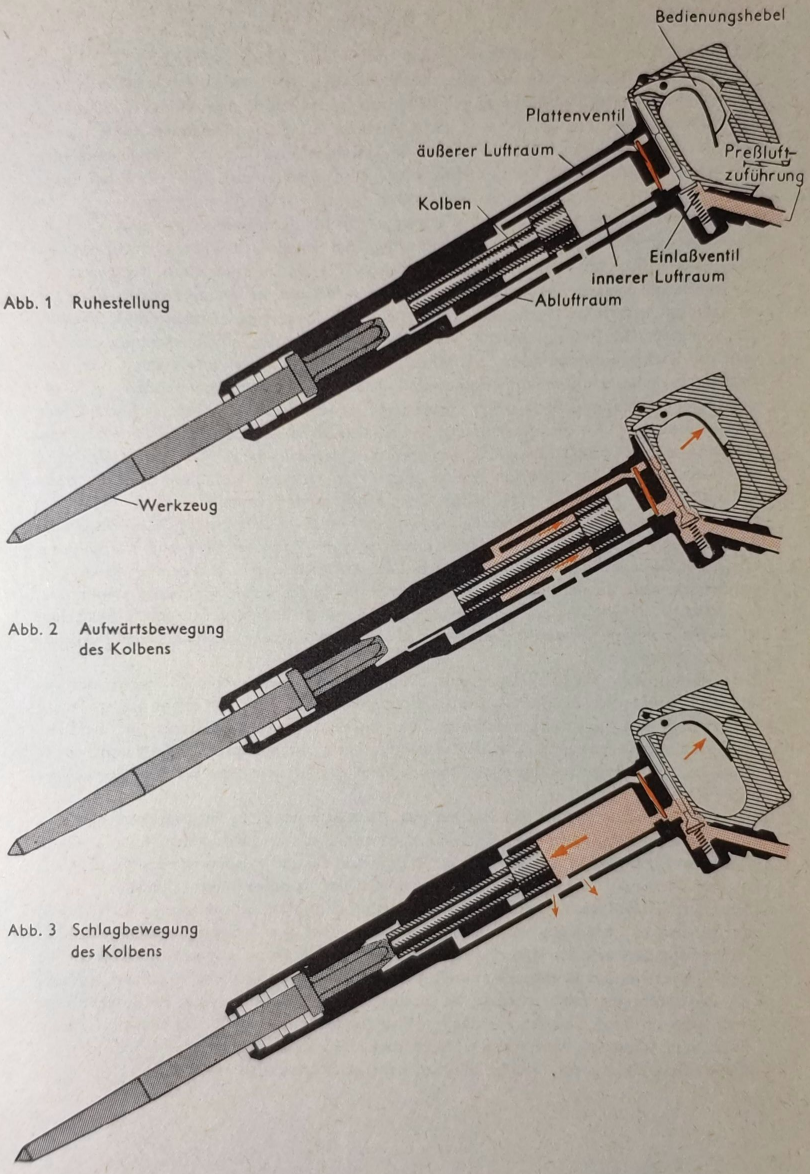


Abb. 1 Ruhestellung

Abb. 2 Aufwärtsbewegung des Kolbens

Abb. 3 Schlagbewegung des Kolbens

KRÄNE

Kräne dienen zum Heben, Schwenken und Versetzen von Lasten aller Art. Sie bestehen je nach Verwendungszweck aus sehr unterschiedlich gestalteten, teils ortsfesten, teils fahr- und drehbaren Stahlgerüsten in Vollwand- oder Gitterkonstruktion. Die unmittelbare Lastaufnahme erfolgt dabei je nach Art der zu transportierenden Güter durch Haken und Zangen (bei Stückgütern) sowie durch Kübel, Greifer und Lastmagnete (bei Schüttgütern). Diese Lastaufnahmemittel sind dabei meist an Drahtseilen aufgehängt, die über zwischengeschaltete Rollensysteme (sog. Flaschenzüge; s. S. 298) ihren Antrieb von meist elektromotorisch angetriebenen Räderwinden erhalten.

Man unterscheidet Brücken- und Auslegerkräne. Bei den Brückenkränen bewegt sich auf waagerechten Trägern meist ein die Last tragender Wagen, die sogenannte „Laufkatze". Auslegerkräne dagegen besitzen einen über einen Stützpunkt hinausragenden Ausleger, der um eine senkrechte Drehsäule oder um einen im Unterbau verankerten Drehzapfen, den sogenannten „Königszapfen", schwenkbar ist. Zu den Auslegerkränen gehören auch die Turmdrehkräne (Abb. 1). Mittels verstellbarer Seilschließen kann ihr Ausleger mehr oder weniger aufgerichtet und damit die Ausladung verändert, d. h. der jeweiligen Last angepaßt werden. Angestrebt wird hierbei ein stets gleichbleibendes Lastmoment (Last mal Ausladung), so daß also kleine Lasten am großem Hebelarm, große Lasten dagegen am entsprechend verkürzten Hebelarm bewältigt werden können.

Bei einem anderen Auslegerkran, dem Wippdrehkran, wird die Ausladung nicht wie beim Turmdrehkran nur gelegentlich ohne Last, sondern betriebsmäßig laufend bei voller Last verändert. Die Schwenkbewegung wird bei diesen Kränen weitgehend durch die Wippbewegung ersetzt, wobei durch entsprechende Vorrichtungen zur Vermeidung unnötiger Hubarbeit ein stets waagerechter Lastweg erzielt wird. Je nach Art dieser Vorrichtungen unterscheidet man Wippkräne mit Seilausgleich und Doppellenkerwippkräne, bei denen durch die Art der Seilführung ein besonderer Seilausgleich nicht erforderlich ist, da die Seillänge von der Windentrommel bis zur Auslegerkopfrolle in jeder Auslegerstellung gleich ist.

Einer der großen Vorteile des Doppellenker-Wippdrehkrans (Abb. 2) liegt in der geknickten Auslegerform, die ein großes Freiprofil ergibt, was vor allem bei sperrigen Lasten sehr günstig ist. Zum anderen bleibt bei diesem Wippkran nicht nur die Last, sondern auch die Auslegerkopfrolle in stets gleicher Höhe, wodurch die Last unmittelbar unter der Auslegerspitze aufgehängt werden kann und somit ein starkes Pendeln weitgehend vermieden wird.

Für die Standsicherheit ist bei den meisten Auslegerkränen ein entsprechend schweres Gegengewicht rückwärts vom Ausleger notwendig, das im allgemeinen fest an einem Gegengewichtsausleger angebracht ist. Wippkräne besitzen daneben noch bewegliche Gegengewichte, die dem Eigengewichtsausgleich des Auslegersystems dienen.

Unter der Vielzahl der Lastaufnahmemittel kommt dem Mehrseil-Stangengreifer (Abb. 3) eine besondere Bedeutung zu. Dieser Greifer besteht aus 2 Greiferschalen, die über 2 Gelenkstangenpaare an eine obere und eine untere Traverse angeschlossen sind. Die obere Traverse hängt an einem Halteseil, während die untere Traverse von einem Schließseil, das durch eine entsprechende Aussparung in der oberen Traverse hindurchgeführt wird, gehalten wird. Durch gegenläufige Bewegungen dieser Seile läßt sich der Greifer öffnen oder schließen, wohingegen durch gleichläufige Bewegung dieser Seile der geöffnete oder geschlossene Greifer gehoben oder gesenkt werden kann.

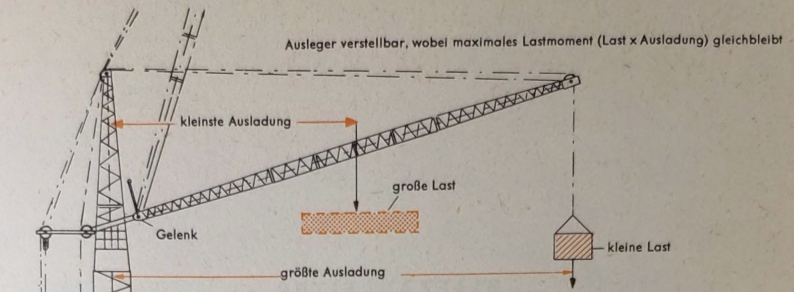
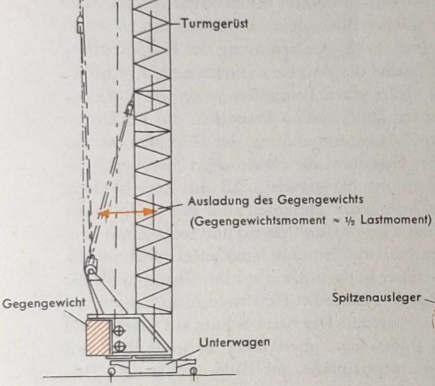


Abb. 1 Turmdrehkran



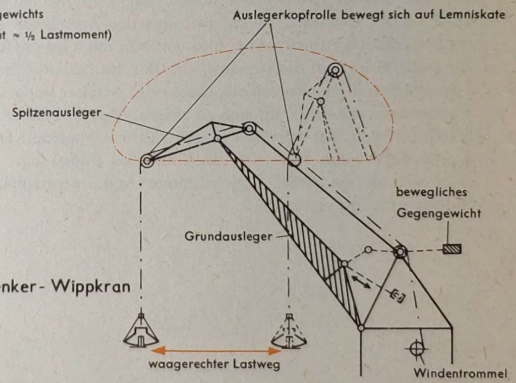


Abb. 2 Doppellenker-Wippkran

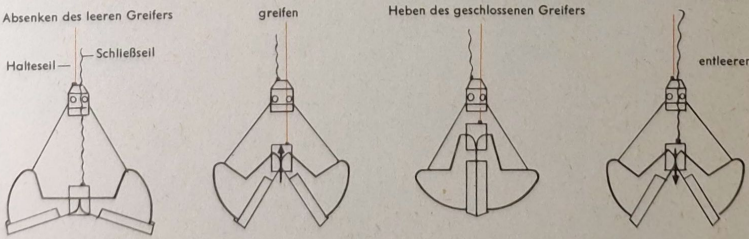


Abb. 3 Arbeitsschema eines Mehrseil-Stangengreifers

BLITZABLEITER

Bringt man auf einem Gebäude eine gut geerdete (s. S. 120) metallische Stange mit einer elektrisch gut leitenden Spitze an, so ist dieses Gebäude weitgehend gegen das Einschlagen von Blitzen gesichert, was bereits Benjamin Franklin in der Mitte des 18. Jahrhunderts entdeckte. Ein oder auch mehrere solcher Blitzableiter umhüllen das zu schützende Objekt mit einer Äquipotentialfläche (vgl. S. 88) der Spannung des Erdpotentials. An der Spitze des Blitzableiters weist diese Fläche die stärkste Krümmung auf (Abb. 1). Dies wiederum bedeutet, daß sich dort die elektrischen Feldlinien besonders stark zusammendrängen (Abb. 2). Auf dieser Spitzenwirkung beruht wesentlich die Wirkungsweise des Blitzableiters. Infolge der starken Zusammendrängung der Feldlinien an der Spitze des Blitzableiters entstehen, wenn bei Gewittern die elektrischen Spannungsdifferenzen in der Atmosphäre anwachsen, so hohe Feldstärken, daß die Luft ionisiert wird, d. h., daß sich Elektronen aus der Atomhülle entfernen und der Atomrumpf positiv geladen zurückbleibt (Abb. 3). Dadurch wird die Luft leitend und weist damit dem Blitz den Weg zum Blitzableiter, der ihn zur Erde abführt und damit unschädlich macht. Selbstverständlich besitzen alle mehr oder weniger gut geerdeten spitzen Gegenstände die Eigenschaft, den Blitz auf sich zu ziehen. Man soll daher bei Gewittern nicht Schutz unter Bäumen suchen oder den Regenschirm aufspannen. Der beste Schutz auf freiem Feld ergibt sich, wenn man sich flach auf den Boden legt; physikalisch bedeutet dies, daß man sich in die ebene ungekrümmte Äquipotentialfläche der Erde einfügt und jede Spitzenwirkung vermeidet.

Abb. 1

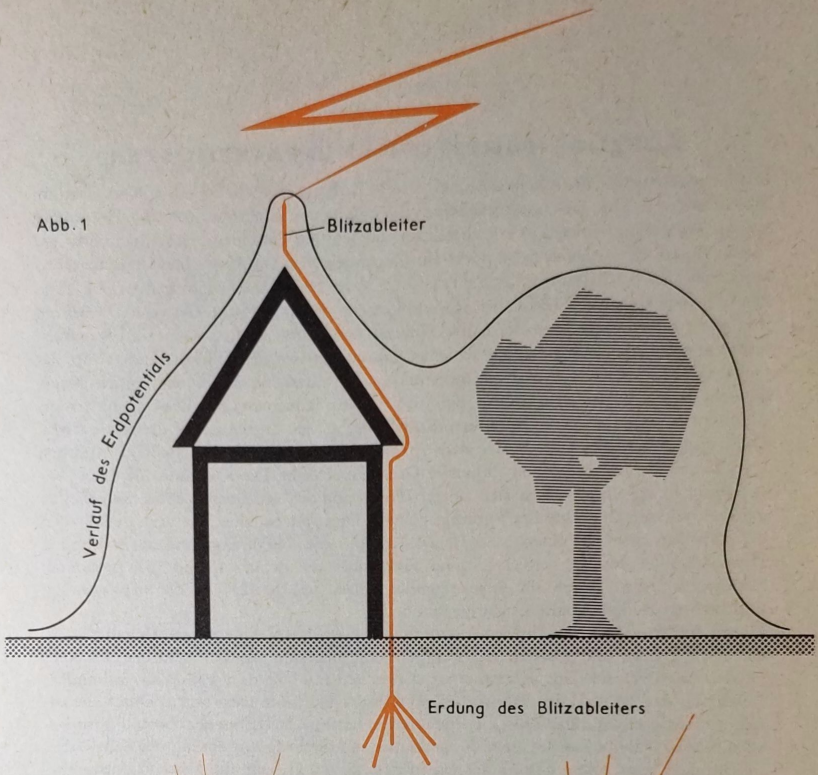
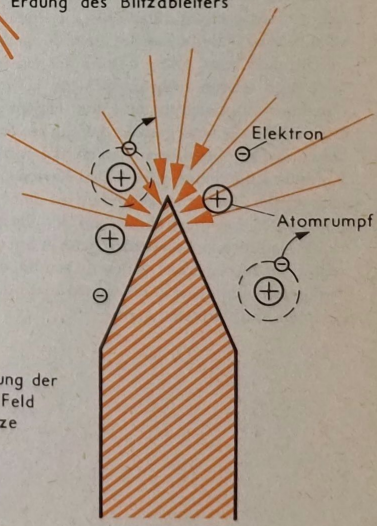


Abb. 2

Spitzenwirkung: starke Zusammendrängung der elektrischen Feldlinien

Abb. 3

Ionisierung der Luft im Feld der Spitze



AUFZÜGE (FAHRSTUHL UND PATERNOSTER)

Das Grundelement eines *Fahrstuhles* ist die feste Rolle (s. S. 298). Diese Rolle ist oben im Motorraum des Aufzuges untergebracht, wird von einem Elektromotor angetrieben und hält an Tragseilen beidseitig Gewichte. Das Gewicht auf der einen Seite bildet dabei der Fahrkorb, auf der anderen Seite wirkt ein Gegengewicht. Die Gewichtsverteilung ist so berechnet, daß bei Belastung des Fahrkorbes mit der Hälfte seiner maximalen Tragfähigkeit Gleichgewicht zwischen Fahrkorb und Gegengewicht herrscht. Bei voller Belastung muß der Antriebsmotor nur die halbe Nutzlast heben und senken sowie die Reibungskräfte in den Seilen und Führungsschienen überwinden. Ist der Fahrkorb leer, so ist das Gegengewicht schwerer und der Motor muß bei Abwärtsfahrt des Fahrkorbes das Mehrgewicht des Gegengewichtes heben, bei Aufwärtsfahrt jedoch den Zug des Gegengewichts bremsen. Als Bremse dient ein Elektromagnet, der an der Antriebswelle der Rolle wirkt. Die Langsamfahrt des Fahrstuhles kurz vor dem Halten in einem Stockwerk wird durch Umschalten des Motors auf eine kleinere Drehzahl erreicht. Die Kontakte, die diese Umschaltung bewirken, befinden sich an der Innenwand des Aufzugsschachtes. Sie arbeiten genauso wie die Kontakte der Türverriegelung. Dies sind Schalter, die nach dem Halten des Fahrkorbes durch einen elektrischen Kontakt die Türverriegelung aufheben. Bei Durchfahren eines Stockwerkes ohne Halt sind die Schienen, die die genannten Schalter betätigen, durch ein entsprechendes Relais (vgl. S. 124) auf die Seite gezogen und können so den Schalter nicht berühren.

Durch den gesamten Schacht des Aufzuges läuft mit diesem ein endloses Sicherheitsseil, das über je eine Rolle oben im Motorenraum und unten am tiefsten Punkt des Schachtes geführt wird. Durch eine Klammer ist dieses Seil fest mit dem Fahrkorb verbunden. Reißt nun das Tragseil des Fahrkorbes, so fällt der Fahrkorb nach unten. Durch die zunehmende Geschwindigkeit löst ein Fliehkraftregler (vgl. S. 218) an der oberen Führungsscheibe des Sicherheitsseiles einen Kontakt aus, der die Fangvorrichtung des Fahrkorbes in Tätigkeit setzt. Diese besteht aus einem System von Hebeln, die zwischen den Fahrkorb und dessen Führungsschiene keilförmige Hemmschuhe einschieben, so daß der Fahrkorb eingeklemmt und zum Halten gebracht wird.

Ein sich stetig bewegender Aufzug ist der sog. *Paternosteraufzug*. Er besteht im wesentlichen aus zwei endlosen Ketten, die parallel zueinander laufen; zwischen ihnen sind die Kabinen aufgehängt. Die beiden Ketten sind so über zwei Kettenradpaare gelegt, daß die eine an der hinteren, die andere an der vorderen Wand entlang geführt wird (Abb. 3). Dadurch laufen die Kabinen auf der einen Seite aufwärts, auf der anderen Seite abwärts. Beide Kettenradpaare werden gemeinsam von einem Motor über ein Getriebe angetrieben, wobei der Motor meist auf dem Dachboden des Hauses untergebracht ist. Die Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit der Kabinen ist so gering, daß man die Kabinen während der Fahrt betreten und verlassen kann.

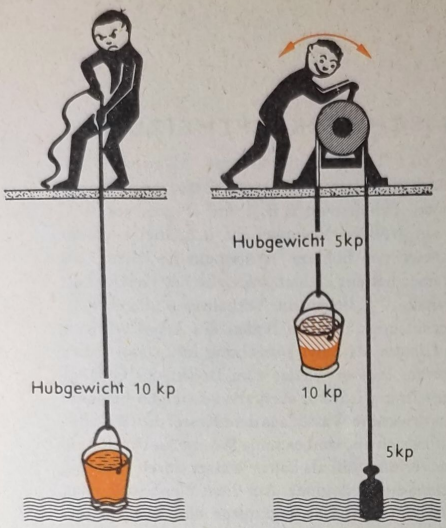


Abb. 1 Prinzip der festen Rolle

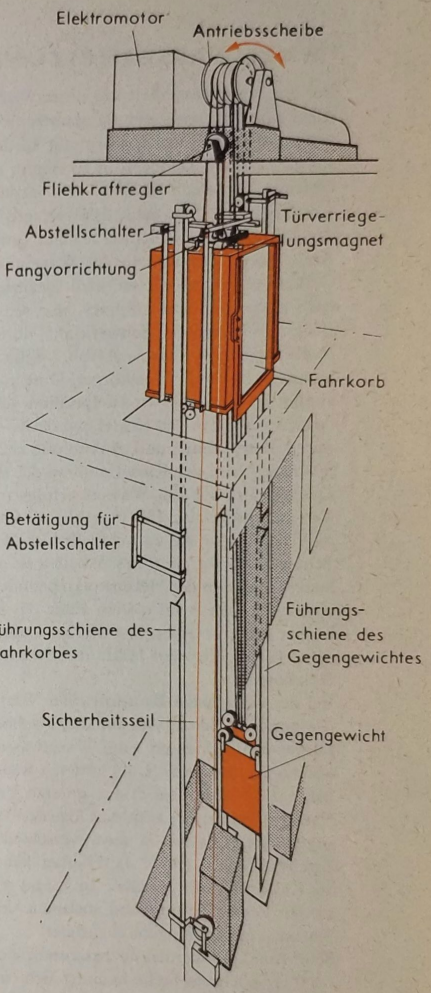


Abb. 2 Aufzuganlage schematisch

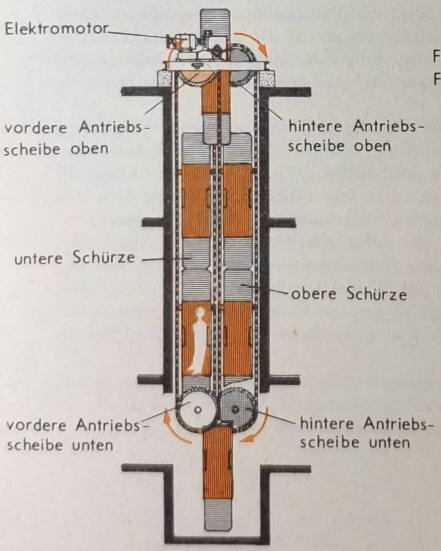


Abb. 3 Paternosteraufzug schematisch

WARMWASSERHEIZUNG (SCHWERKRAFTHEIZUNG)

Bei der Warmwasserheizung dient Wasser zum Transport der Wärme. Man macht sich dabei eine Naturerscheinung zunutze, wonach sich fast alle Körper (Festkörper, Flüssigkeiten und Gase) bei Erwärmung ausdehnen. Bringt man z. B. 1 cm^3 Wasser von 4 °C auf eine höhere Temperatur, so nimmt es ein größeres Volumen ein, d. h. aber — da das Gesamtgewicht gleichbleibt —, 1 cm^3 Wasser von höherer Temperatur ist leichter als 1 cm^3 bei 4 °C. Man sagt, das wärmere Wasser hat ein kleineres spezifisches Gewicht als das kältere, es ist spezifisch leichter (unterhalb 4 °C liegen die Verhältnisse umgekehrt). Abb. 1 zeigt das Prinzip der Warmwasserheizung: Das am Boden des kugelförmigen Gefäßes erwärmte Wasser wird spezifisch leichter als seine Umgebung und steigt daher nach oben, während kühleres, also schwereres Wasser wieder zum Boden des Gefäßes strömt (Wirkung der Schwerkraft), dort erwärmt wird und ebenfalls zu steigen beginnt. In der Heizungsanlage nach Abb. 2 steigt das erwärmte Wasser aus dem Kessel durch Rohrleitungen bis in die Heizkörper. Dort kühlt es sich ab, weil es seine Wärme an den Raum abgibt. Es wird also wieder spezifisch schwerer und fällt als kaltes Wasser durch Rohrleitungen zurück in den Kessel, wo der Kreislauf erneut beginnt. Auf diese Weise stellt man durch Erwärmung und Abkühlung in der gesamten Heizungsanlage eine umlaufende Strömung her; der Kessel muß an der tiefsten Stelle der Anlage stehen.

Die Erwärmung des Wassers erfolgt im Mittel auf 90 °C. Man spricht dabei von der Vorlauftemperatur. Die Anzahl und Größe der Heizkörper soll so bemessen sein, daß die Temperatur des zurückfließenden Wassers, die Rücklauftemperatur, 70 °C beträgt.

Sehr wichtig für ein gutes Arbeiten ist die Entlüftung der Anlage. Die Luft, die sich bei leerer Anlage in den Heizkörpern befindet, wird beim Füllen zusammengepreßt und hängt als sog. Luftsack am oberen Ende des Heizkörpers, so daß das Warmwasser den Heizkörper nicht vollständig ausfüllen kann. Man verliert also Heizfläche. Deshalb entlüftet man an der höchsten Stelle der Steigleitung oder aber durch kleine Hähne direkt am Heizkörper.

Bei der einfachsten Bauform einer Warmwasserheizung führt man in einer Steigleitung das gesamte Heizwasser auf den Dachboden und läßt von hier aus die einzelnen Heizkörper hintereinander vom Warmwasser durchfließen (Abb. 2). Dadurch erhalten die oberen Räume warmes, die unteren Räume jedoch schon abgekühltes Wasser. Man muß daher die Heizkörper in den unteren Räumen größer ausführen als in den oberen.

Häufiger verwendet man eine Bauart, bei der zufließendes Heizwasser und abfließendes, abgekühltes Wasser in zwei verschiedenen Rohrleitungen geführt werden, das sog. Zweirohrsystem (Abb. 3). Hierbei kann das Wasser sowohl auf dem Dach als auch im Keller verteilt werden. In jedem Fall hängen die Heizkörper alle hintereinander an der Vorlaufleitung und entleeren sich in eine gemeinsame Rücklaufleitung, die das Wasser wieder dem Kessel zuführt.

Beim Anfahren werden die beschriebenen Anlagen vollständig mit kaltem Wasser gefüllt. An ihrer höchsten Stelle befindet sich ein Ausdehnungsgefäß, welches das durch die Erwärmung des Wassers entstehende größere Volumen aufnehmen kann.

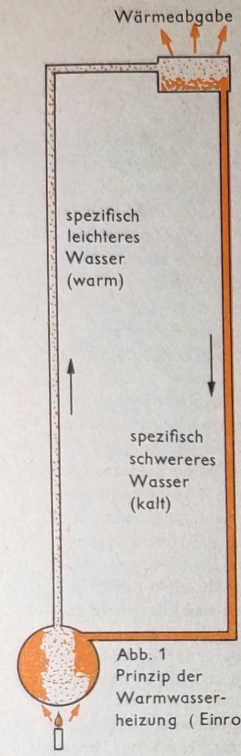


Abb. 1
Prinzip der Warmwasserheizung (Einrohrsystem)

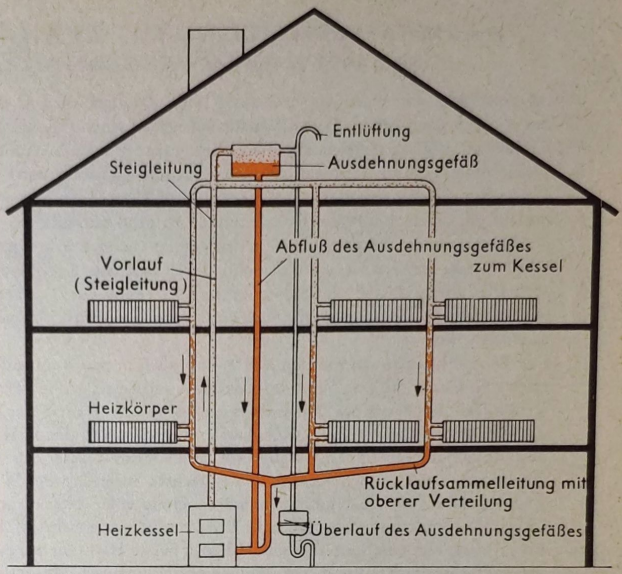


Abb. 2
Offene Schwerkraft-Warmwasserheizung (Einrohrsystem)

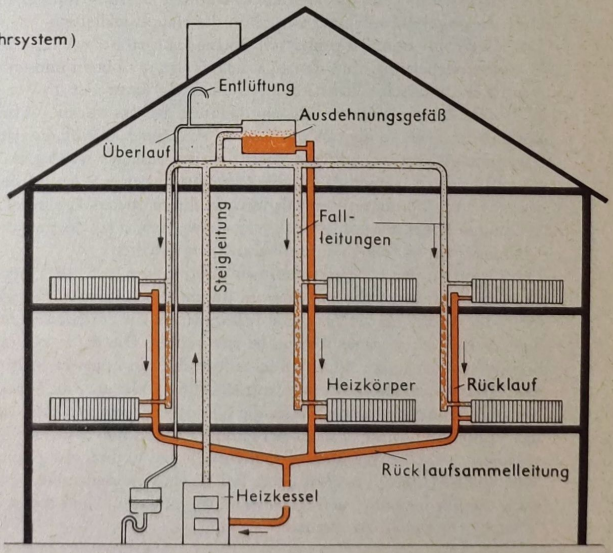


Abb. 3
Offene Schwerkraft-Warmwasserheizung mit oberer Verteilung (Zweirohrsystem)

WARMWASSERHEIZUNG MIT ZWANGSUMLAUF (PUMPENWARMWASSERHEIZUNG)

Im Gegensatz zur Warmwasserheizung ohne Zwangsumlauf, bei der die Strömung in der Anlage nur durch die verschiedenen spezifischen Gewichte des unterschiedlich temperierten Wassers hervorgerufen wird, erzeugt man in Anlagen dieser Bauart den Wasserumlauf durch Pumpen. Die Zwangsumlaufheizung wird prinzipiell bei höheren Gebäuden eingebaut, weil hier bei Verwendung einer Warmwasserheizung ohne Zwangsumlauf die Querschnitte der Rohrleitungen zu groß sein müßten; doch finden sich Pumpenwarmwasserheizungen auch in einstöckigen Häusern in steigendem Maße.

Als Pumpen verwendet man ausschließlich spezielle Kreiselpumpen (vgl. S. 44); sie setzen bei ihrem Ausfall der Strömung in der Leitung einen so geringen Widerstand entgegen, daß die Heizung dann auch ohne Zwangsumlauf, also als Schwerkraftheizung, arbeiten kann.

Die Pumpe kann sowohl in den Vorlauf als auch in den Rücklauf eingebaut werden. Im ersten Fall steht die Pumpe in der Leitung vom Kessel zu den Heizkörpern, d. h. in der Vorlaufleitung, saugt das Warmwasser aus dem Kessel, drückt es durch die Leitungen in die Heizkörper und durch die Rücklaufleitung zurück in den Kessel. Wenn die Pumpe in den Rücklauf eingebaut ist, saugt sie abgekühltes Wasser aus den Heizkörpern und drückt es zurück in den Kessel. Die einfachste Schaltung der Warmwasserheizung mit Zwangsumlauf ist die Hintereinanderkoppelung aller Heizkörper, das Einrohrsystem (Abb. 1). Man kann hierbei mehrere Kreise in der Art anordnen, daß immer eine Gruppe von Räumen an eine Leitung angeschlossen ist. In Häusern, wo ein Abstellen nicht oder nur selten in Frage kommt, verwendet man diese Bauart. Wesentlich verbessert wird die Einrohranlage durch Verlegung der Heizkörper in Abzweigungen der Hauptleitung. Die Abzweigleitung kann dann mit einem Regulierventil versehen werden, ohne daß man die Wasserzufuhr für die unteren Heizkörper drosseln müßte. Hinter den Heizkörpern läuft das abgekühlte Wasser zurück in die Hauptrückleitung.

Das Zweirohrsystem ist prinzipiell genauso ausgeführt wie das entsprechende System der Warmwasserheizung ohne Zwangsumlauf, also mit oberer und unterer Verteilung. Hinzu kommt die unterschiedliche Pumpenaufstellung (entweder im Vor- oder Rücklauf; Abb. 2 u. 3). Das Zweirohrsystem entsteht dadurch, daß das warme Wasser, das in den Heizkörper zuläuft, und das abgekühlte Wasser, das daraus abläuft, in zwei verschiedenen Rohrleitungen geführt werden. Die beschriebenen Anlagen werden als sog. offene Heizungen ausgeführt, d. h., sie stehen mit der Außenluft durch eine Entlüftung des Ausdehnungsgefäßes in Verbindung und sind dadurch in ihrem oberen Teil drucklos. Alle Warmwasserheizungen können automatisch gesteuert werden, d. h., die gewünschte Raumtemperatur wird konstant auf einem einstellbaren Wert gehalten.

Dazu sind in den beheizten Räumen Thermostate (s. S. 40) eingebaut. Auf diesen Thermostaten stellt man die gewünschte Raumtemperatur ein. Sie geben dann bei Absinken oder Ansteigen der Temperatur Impulse an die entsprechenden Regelorgane der Anlage, mehr oder weniger Wärme heranzuführen. Die dafür in Frage kommenden Regelorgane sind entweder die Regulierventile der einzelnen Heizkörper (man kann dann in jedem Raum eine andere Temperatur einstellen) oder aber die Kesselanlage selbst, wo man bei Ölfeuerung den Brenner oder die Ölmenge steuert, bei Kohlenfeuerungen die Menge der Verbrennungsluft dosiert. Bei geringer Luftzufuhr wird die Verbrennung langsamer ablaufen, während bei starker Luftzufuhr die Verbrennung schnell und unter großer Wärmeentwicklung vor sich geht. Bei Warmwasserheizungen mit Zwangsumlauf kann auch die Fördermenge der Wasserpumpen eingestellt und damit die herantransportierte Wärmemenge reguliert werden.

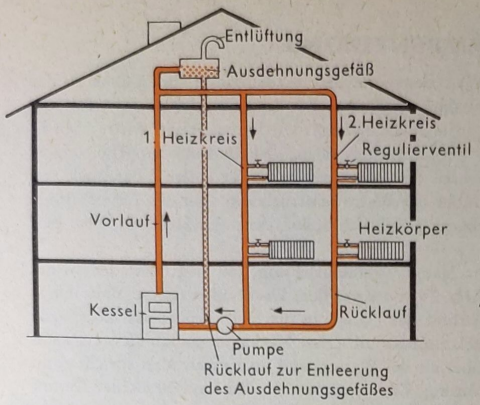


Abb. 1 Einrohrsystem der offenen Warmwasserheizung. Alle Heizkörper an einem Strang hintereinandergeschaltet (2 Heizkreise); Pumpe im Rücklauf

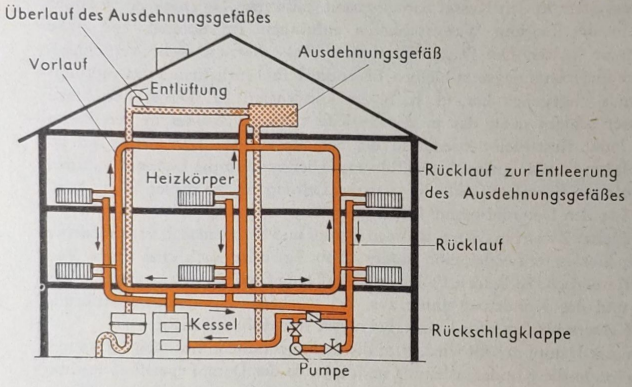


Abb. 2 Warmwasserheizung als Zweirohrsystem mit unterer Verteilung; Pumpe im Rücklauf

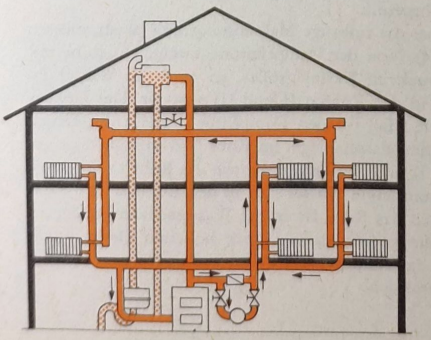


Abb. 3 Warmwasserheizung als Zweirohrsystem mit oberer Verteilung; Pumpe im Vorlauf

DAMPFHEIZUNG

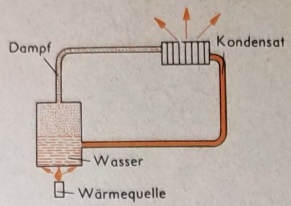
Bei diesem Typ der Zentralheizung transportiert der Wasserdampf die Wärme zu den Heizkörpern. Infolge der Wärmeabgabe verflüssigt sich dort der Dampf; er wird zum Kondensat, das in den Heizkessel zurückfließt und dort wieder verdampft wird (Abb. 1). Gewöhnlich verwendet man in Wohnhäusern offene Niederdruckdampfheizungen, die durch Ventile mit der Atmosphäre verbunden sind und mit einem Überdruck von weniger als 0,5 at arbeiten. Gegenüber der Warmwasserheizung sind die Temperaturen in den Heizkörpern der Dampfheizung wesentlich höher, denn der Heizdampf hat eine Temperatur von rd. 105°C.

Vom Kessel steigt der Dampf zur Hauptverteilungsleitung, die sich entweder an der Kellerdecke (untere Verteilung; Abb. 2a) oder auf dem Dachboden (obere Verteilung; Abb. 2b) befindet. Von hier aus strömt der Dampf in die Heizkörper; das Kondensat fließt in der gleichen Leitung zurück zum Kessel. Diese Kondensatrückflußleitung kann an der Kellerdecke liegen, d.h. höher als der Wasserstand im Kessel. Man spricht dann von „trockener" Kondensatrückführung. Um zu vermeiden, daß unverbrauchter Dampf aus dem Heizungssystem in den Kessel zurückströmt, muß man bei trockener Kondensatrückführung in der Leitung Wasserschleifen anbringen. Im unteren Teil dieser Schleife steht immer Wasser. Der Dampf kann diese Wasserbarriere nicht wegschieben und muß so lange im Heizungssystem bleiben, bis er die in ihm enthaltene Verdampfungswärme größtenteils abgegeben hat, d. h. bis er kondensiert ist. Dieses neu hinzukommende Wasser schiebt dann das in der Schleife stehende Wasser in den Kessel weiter. Nur der letzte Rest bleibt wieder in der Schleife zurück. Die zweite Art der Kondensatrückführung ist die „nasse" Rückführung. Hier verläuft die Leitung unterhalb des Wasserspiegels im Kessel, so daß die gesamte Leitung bis zu dieser Höhe unter Wasser steht und so den Dampfabschluß bildet.

Beim gebräuchlicheren Zweirohrsystem strömen Dampf und Kondensat in verschiedenen Leitungen. Auch hier ist entweder eine untere (Abb. 3a) oder auch eine obere Verteilung (Abb. 3b) möglich. In beiden Fällen tritt der Dampf jedoch immer oben in den Heizkörper ein und das Kondensat unten aus. Bei trockener Kondensatrückführung sind wieder die Wasserschleifen erforderlich, bei nasser Rückführung nicht.

Wenn das System mit Dampf gefüllt wird, wird die darin befindliche Luft beim Anfahren vom Dampf abwärts in die Kondensatleitung gedrückt, da der Dampf spezifisch leichter als die Luft ist und praktisch auf der Luft „schwimmt". Deshalb müssen die Kondensatleitungen an der tiefsten Stelle der Dampfleitung entlüftet werden. Bei der trockenen Rückführung wird die Kondensatleitung direkt entlüftet. Bei der nassen Rückführung werden gesonderte Entlüftungsleitungen eingebaut. Daneben gibt es auch Entlüftungseinrichtungen an den einzelnen Heizkörpern.

Um den Überdruck im Kessel nicht über das zulässige Maß ansteigen zu lassen, müssen Standrohre angebracht werden (Abb. 4). Von der Dampfleitung zweigt ein Rohr mit einer Wasserschleife ab. Wird der Druck im Kessel größer, so wird das Wasser im Rohr I abwärts gedrückt, während es in den Rohren II und III ansteigt. Der Höhenunterschied beider Wasserspiegel ist ein Maß für den Dampfdruck. Steigt der Druck über den zulässigen Wert an, so wird der Wasserspiegel im Rohr I so weit abwärts gedrückt, bis der Dampf durch das Rohr II und den Behälter sowie das Rohr IV ins Freie strömen kann. Das aus dem Rohr II verdrängte Wasser tritt in den Behälter und kann bei fallendem Dampfdruck wieder durch das Rohr III in die Wasserschleife gelangen. Auf diese Weise werden Wasserverluste vermieden. Bei noch höherem Dampfdruck kann der Dampf schließlich sogar über die Rohre III und IV ins Freie gelangen. So wird mit Sicherheit eine Kesselexplosion vermieden.



Verdampfen durch Wärmezufuhr

Abb. 1 Kreislaufschema einer Dampfheizung

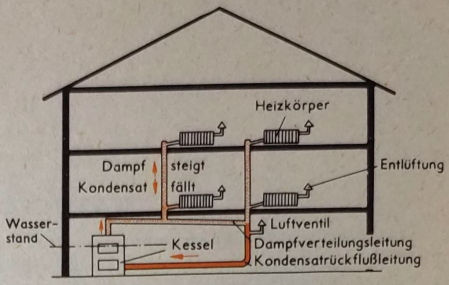


Abb. 2a Einrohr- Niederdruckdampfheizung mit unterer Verteilung und nasser Kondensatrückführung

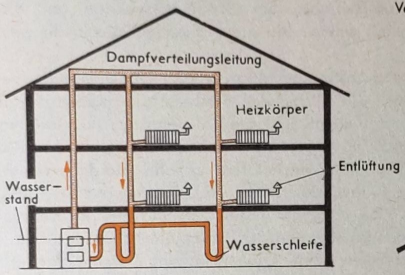


Abb. 2b Einrohr-Niederdruckdampfheizung mit oberer Verteilung und trockener Kondensatrückführung

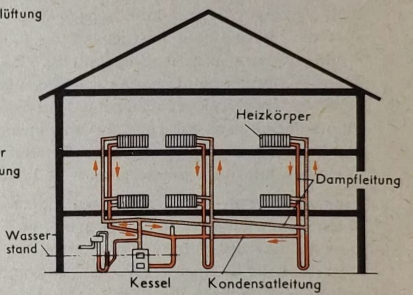


Abb. 3a Zweirohr-Niederdruckdampfheizung mit unterer Verteilung und trockener Kondensatleitung

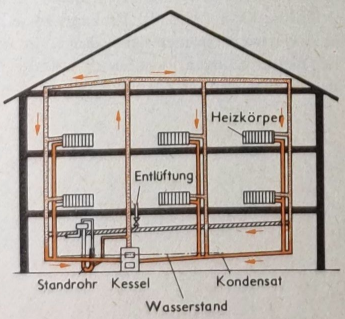


Abb. 3b Zweirohr-Niederdruckdampfheizung mit oberer Verteilung und nasser Kondensatleitung

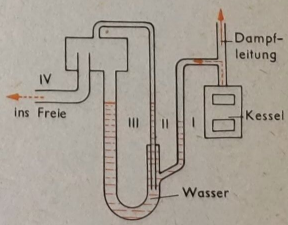


Abb. 4 Standrohr

GASHEIZUNG

Gasheizungen werden meist mit normalem Stadtgas betrieben. Sie finden dann Verwendung, wenn keine allzu große Heizleistung benötigt wird, also z. B. in Übergangszeiten oder in Gegenden, in denen ein überwiegend mildes Klima herrscht.

Wie bei jeder anderen Heizung beruht auch die Wirkungsweise der Gasheizung auf drei physikalischen Vorgängen: der Wärmestrahlung, der Wärmekonvektion und der Wärmeleitung. Je nach Bauart der Heizungsanlage tritt einer dieser Effekte mehr oder weniger stark hervor.

Ein Typ der Gasheizungen ist unter der Bezeichnung Infrarot- oder Ultrarotstrahler bekannt geworden. Man nennt sie so, weil die wärmenden Strahlen, die gleicher Natur sind wie das sichtbare Licht, sich in ihrer Wellenlänge an die Wellenlänge des Rotlichts anschließen. Jede Wärmestrahlung ist eine Infra- oder Ultrarotstrahlung (vgl. S. 30), also auch diejenige, die von der beheizten Wand eines Kachelofens ausgeht (allerdings beruht dort die Heizwirkung vorwiegend auf Konvektion; s. S. 296). Erzeugt werden diese Strahlen, indem man in Brennern das Gas verbrennt (Abb. 1 a) und mit der freiwerdenden Wärme unmittelbar an den Brennern angeordnete Platten aus Schamotte, Stahlgewebe oder andere geeignete Materialien zum Glühen bringt. Diese glühenden Platten kann man zur Heizung von kleinen Räumen in sog. Gasstrahlungsöfen oder zur Heizung von Hallen und großen Räumen an der Decke unterbringen (Abb. 1 b). Die Strahlung wird um so stärker, je höher die Temperatur der beheizten Platten ist.

Eine andere Art der Gasheizungen stellen die sog. Konvektionsöfen dar. Hier gibt das abströmende heiße Verbrennungsgas seine Wärme vorwiegend indirekt an die umgebende Luft ab. Die bekannteste Art dieser Öfen sind die Gasradiatoren, bei denen an der Unterseite die Brenner in einer Reihe angeordnet sind, das heiße Abgas durch die Rippen strömt und dadurch die Luft an der Außenseite erwärmt. Die modernste Bauart eines Konvektionsofens ist der sogenannte schornsteinlose Ofen (Abb. 3). Er kann an jeder Außenwand aufgestellt werden. Die abgekühlten Heizgase strömen dabei durch ein Abzugsrohr unmittelbar ins Freie. Es kommt bei diesen Konvektionsöfen darauf an, die Heizgase auf möglichst langen Wegen im Ofen herumzuführen, damit sie ihre Wärme weitgehend abgeben können.

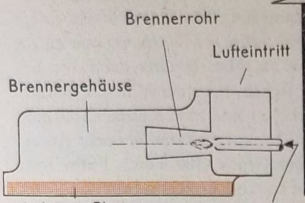


Abb. 1a Infrarotstrahler

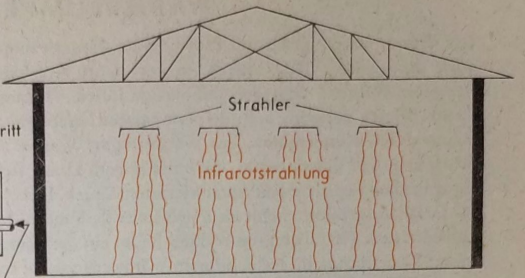


Abb. 1b Mit Infrarotstrahlen beheizte Halle

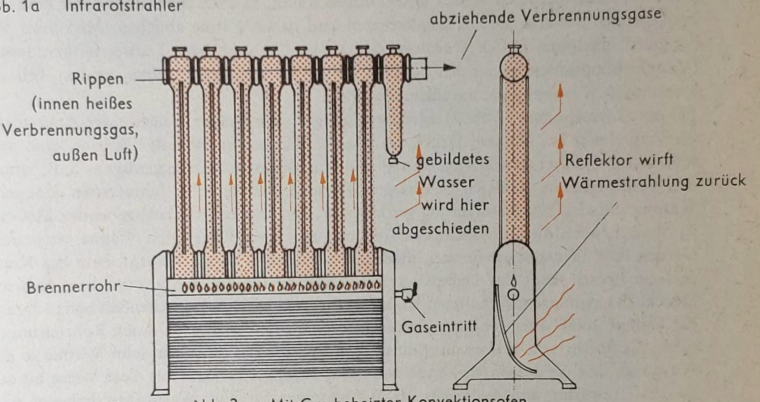


Abb. 2 Mit Gas beheizter Konvektionsofen

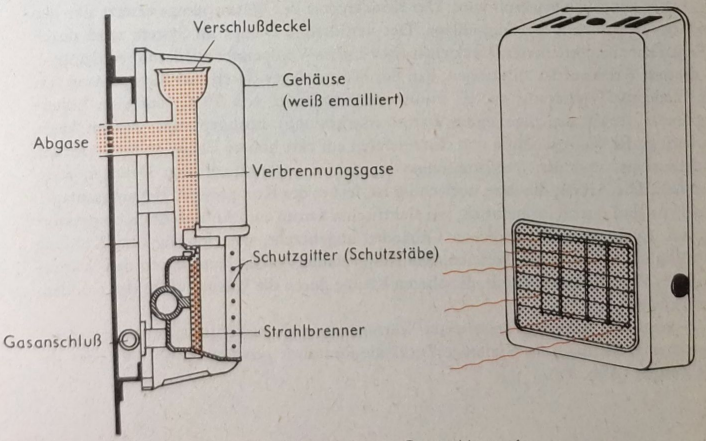


Abb. 3 Schornsteinloser Gasstrahlungsofen

WÄRMEPUMPE

Die Wärmepumpe gleicht im Prinzip einer Kompressionskühlanlage (s. S. 348), sie hat auch die gleichen Bauelemente: Kompressor, Kondensator, Drosselventil und Verdampfer. Während aber die Kühlanlage durch Verdampfung des Kältemittels einem Raum Wärme entzieht, d. h. die Temperatur herabsetzt, führt die Wärmepumpe einem Raum durch Kondensation des Wärmeträgers Wärme zu. Man benützt dabei die Erscheinung, daß Flüssigkeiten, die unter hohem Druck stehen, bei einer höheren Temperatur verdampfen als solche unter kleinerem Druck. In Abb. 1 sind zwei Räume durch eine als Gefäß ausgebildete Schleuse miteinander verbunden. Im linken Raum herrscht Atmosphärendruck (760 Torr), im rechten Raum ein geringer Druck (100 Torr). Führt man einer Wassermenge im rechten Raum Wärmeenergie zu, so wird sie schon bei einer Temperatur, die niedriger als 100 °C ist, sieden. Verschiebt man ein Gefäß mit dem so entstandenen Wasserdampf nach Abb. 1 in den linken Raum, so wird der Dampf unter dem dort herrschenden höheren Druck kondensieren und dabei Wärme abgeben. Man muß also bei einem niedrigen Druck Wärmeenergie aufwenden und dann Transportarbeit leisten (Verschiebungsarbeit gegen den höheren Druck), um schließlich einen großen Teil der investierten Wärmeenergie zurückzugewinnen.

Bei der Wärmepumpe (Abb. 2) wird der flüssige Wärmeträger, Frigen oder Ammoniak, im Verdampfer bei kleinem Druck verdampft. Die dazu notwendige Wärme kann verschiedenen Quellen entnommen werden. Für eine kleinere Anlage genügt es z. B. schon, den Verdampfer im Erdreich zu verlegen. Dieses enthält zu allen Jahreszeiten genügend Wärme, um den Wärmeträger zu verdampfen. Ein anderes wärmeabgebendes Medium ist Wasser, auch die Luft kann zur Aufbringung der notwendigen Wärme verwendet werden. Die Transportarbeit vom niedrigen zum hohen Druck besorgt dann der Kompressor. Dieser saugt den Dampf an und verdichtet ihn auf den gewünschten höheren Druck. In einem nachgeschalteten Kondensator wird bei dem herrschenden hohen Druck der Dampf unter Wärmeentzug verflüssigt, indem man den Dampf durch Rohrleitungen führt, die außen von Wasser umspült werden. Der Dampf gibt dann seine Wärme an das Wasser ab und wird dadurch kondensiert. Das Kühlwasser kann auf diese Weise bis auf 60–70 °C erwärmt und seinerseits als Wärmeträger für eine Warmwasserheizung verwendet werden. Es kühlt sich in den Heizkörpern ab und strömt zurück in den Kondensator, wo es neuerlich erwärmt wird. Der Kondensator der Wärmepumpe ersetzt also den Kessel der Warmwasserheizungsanlage. Der verflüssigte Dampf im System wird durch ein Ventil auf einen kleineren Druck entspannt und im Verdampfer wiederum verdampft.

Aus diesem Kreislauf ist zu ersehen, daß der Wärmeträger durch den Kompressor von einer niederen Temperatur (z. B. Flußwassertemperatur von 10 °C) auf eine höhere Temperatur (etwa diejenige einer Warmwasserheizung) hochgepumpt werden kann. Man verlegt die Wärmeenergie von einer tieferen auf eine höhere Ebene, indem man den Kondensations- und den Verdampfungsvorgang bei unterschiedlichen Drücken stattfinden läßt. Die Arbeit, die dazu notwendig ist, leistet der Kompressor. Heizungsanlagen dieses Typs sind dort wirtschaftlich, wo elektrischer Strom zum Antrieb des Kompressors billig ist. Auch sind sie in solchen Gebäuden angebracht, wo Heizung und Kühlung notwendig sind, z. B. in Molkereien. Die Kellerräume werden dann durch den Wärmeentzug des Verdampfers gekühlt, die oberen Räume durch die Wärmezufuhr des Kondensators geheizt.

Abb. 3 zeigt die Wirkungsweise einer Wärmepumpe. Je nach Jahreszeit kann durch entsprechende Stellung des Vierwegeventils die Raumluft gewärmt (Abb. 3 a) oder gekühlt werden (Abb. 3 b).

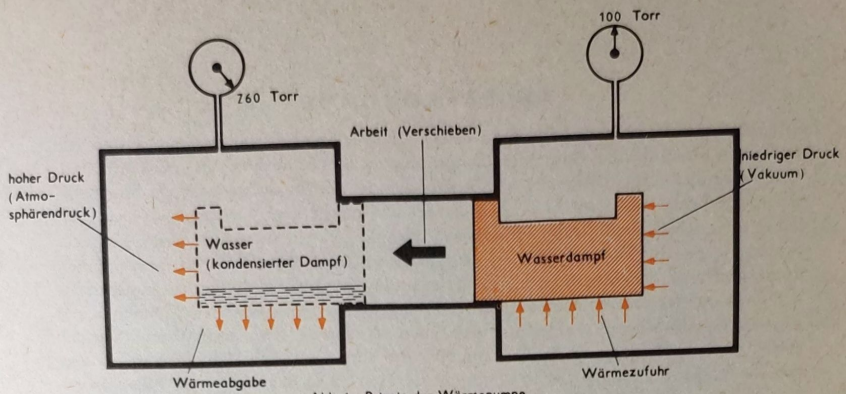


Abb. 1 Prinzip der Wärmepumpe

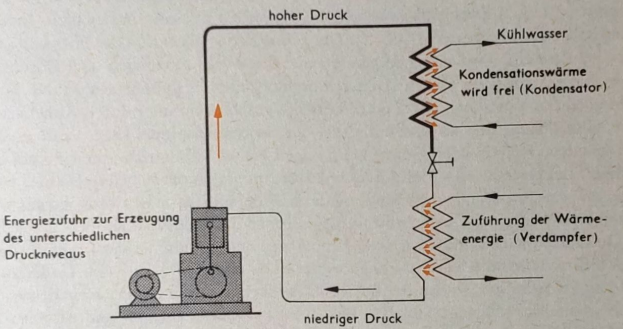


Abb. 2 Arbeitsschema der Wärmepumpe

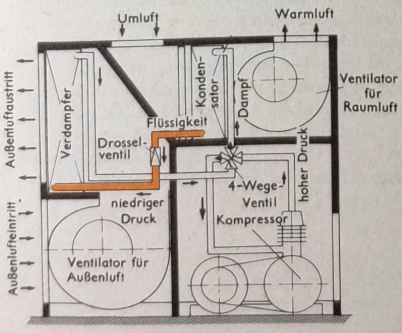


Abb. 3a Heizen

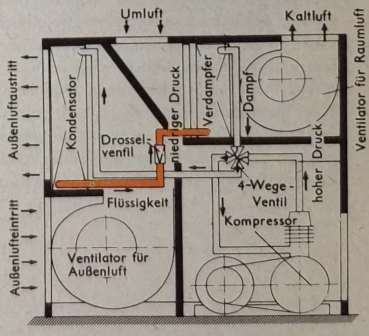


Abb. 3b Kühlen

ABSPERRORGANE

Mit Hilfe von Absperrorganen, wozu Hähne, Ventile und Schieber gehören, lassen sich strömende Flüssigkeiten, Gase oder Dämpfe absperren bzw. hinsichtlich ihrer Durchflußmenge regulieren. Das bekannteste Absperrorgan ist der Wasserhahn, der technisch gesehen ein Ventil ist. Zwischen einem Hahn und einem Ventil besteht ein grundsätzlicher Unterschied. Beim Hahn sitzt das sog. Hahnküken, ein konusförmiges Werkstück, drehbar in einem Gehäuse (Abb. 1). Senkrecht zu seiner Mittelachse ist dieses Küken durchbohrt. Auf der einen Seite des Gehäuses ist die Eintrittsöffnung für den abzusperrenden Stoff, auf der anderen dessen Austrittsöffnung. Werden diese beiden Öffnungen durch die Bohrung des Kükens miteinander verbunden, so kann das strömende Mittel hindurchfließen. Durch Drehung des Kükens um 90° wird abgesperrt. Ein Hahn ermöglicht also nur die beiden Stellungen „offen" und „geschlossen". Die Regelung einer Flüssigkeitsmenge durch einen Hahn ist nur in beschränktem Maße möglich. Ein Ventil ist von außen an der meist kugelförmigen Verdickung des Gehäuses in der Mitte sowie dem Handrad oder dem kreuzförmigen Drehgriff zu erkennen. Dieser ist mit einer meist nicht sichtbaren Schraubenspindel verbunden (Abb. 2). Die Flüssigkeit (oder das Gas) tritt von einer Seite in das Gehäuse ein, wird etwas umgelenkt und fließt von unten nach oben durch eine Öffnung, den sog. Ventilsitz. Durch Drehen am Handrad oder Drehgriff wird das Ventil beim Aufpressen des Ventilkegels auf den Ventilsitz geschlossen oder durch Anheben geöffnet. Der Ventilkegel, der am unteren Ende der Schraubenspindel sitzt, kann je nach Bauart verschiedene Kegelwinkel haben; beim Kegelwinkel 180° wird aus dem Kegel eine einfache Platte. Bei Drehung des Handrades wird die Spindel durch Führung in einer Mutter auf- oder abwärts bewegt. Je nach Stellung der Spindel und damit des Ventilkegels wird ein jeweils unterschiedlicher Querschnitt freigegeben, so daß Ventile besonders zur Regelung von Durchflußmengen geeignet sind. Eine Sonderausführung ist das Freiflußventil, bei dem der Sitz und die Spindel schräg angeordnet sind (Abb. 3). Hier ist keine Umlenkung der Flüssigkeit erforderlich, so daß der Durchflußwiderstand geringer ist. Eine dritte Art der Absperrorgane sind die sog. Schieber. Hier wird zwischen Eintritts- und Austrittsöffnung der Flüssigkeit im Gehäuse eine Keilplatte geschoben; auch diese Platte wird durch eine Schraubenspindel auf- oder abbewegt (Abb. 5). Die Schraubenspindel, die von innen nach außen führt, muß bei Ventilen und Schiebern abgedichtet werden, damit die strömende Flüssigkeit bzw. das Gas oder der Dampf nicht nach außen gelangen. Da die Spindel zur Bedienung des Absperrorgans gedreht werden muß, werden zur Abdichtung sog. Stopfbüchsen verwendet. Diese bestehen im wesentlichen aus drei Teilen (Abb. 4): Dem Stopfbüchsenraum, einem um die Spindel herum aus dem Gehäuse ausgedrehten Hohlraum, der Stopfbüchsenbrille und der Packung. Die Packung, meist Asbest mit Zusätzen, von schnurähnlichem Aussehen und quadratischem Querschnitt, wird in den Stopfbüchsenraum um die Spindel gelegt. Sodann wird die Brille darauf gesetzt, die mit ihrem in den Packungsraum hineinragenden Teil die Schnur zusammen- und dadurch gegen die Wand und gegen die Spindel drückt. Durch dieses enge Anliegen der Schnur an die Spindel kann das strömende Mittel auch beim Drehen der Spindel nicht ins Freie treten.

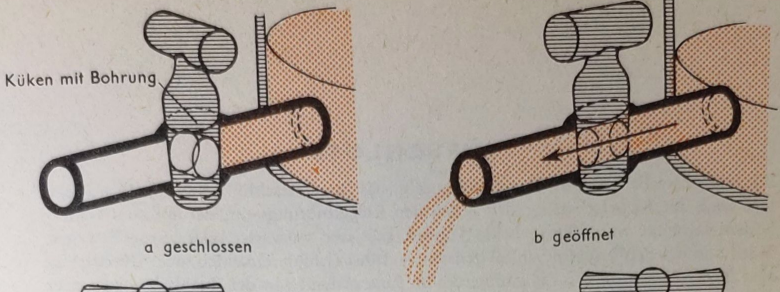


Abb. 1 Hahn

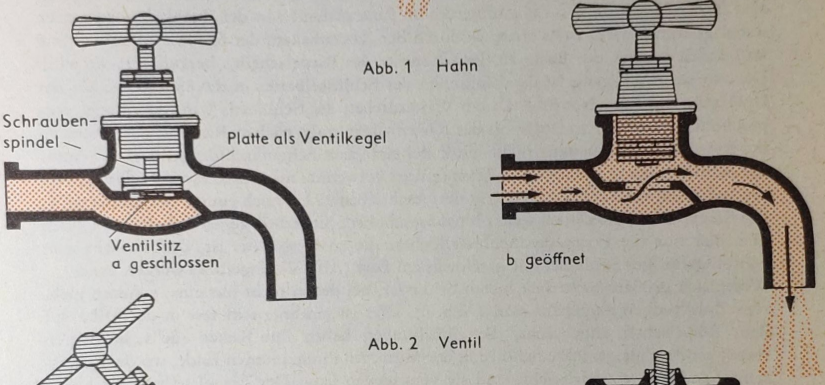


Abb. 2 Ventil

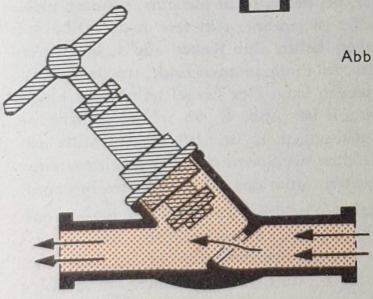


Abb. 3 Freiflußventil

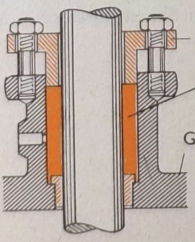


Abb. 4 Stopfbüchse

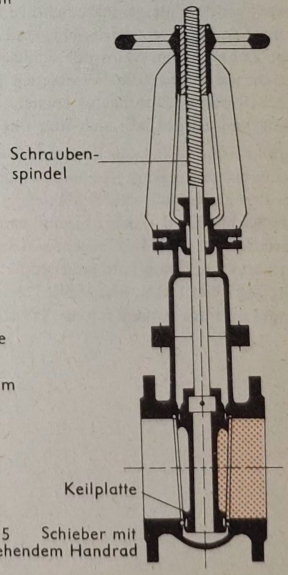


Abb. 5 Schieber mit feststehendem Handrad

TÜRSCHLOSS

Die einfachste Bauart eines Türschlosses zeigt das Buntbartschloß (Abb. 1). Der Riegel und auch der Riegelschaft werden durch den Riegelführungsstift, der auf dem Schloßboden vernietet ist, geführt; beide können sich nur vorwärts- oder zurückbewegen. Wird nun der Schlüssel im Schloß gedreht, so führt er hintereinander zwei Arbeitsgänge aus: Zuerst drückt er die Zuhaltung, die im Ruhezustand von der Zuhaltungsfeder nach unten gedrückt wird, nach oben, wodurch der Rastenhaken, der fest mit der Zuhaltung verbunden ist, aus der Raste an der Oberseite des Riegelschaftes herausgedrückt wird. Der zweite Arbeitsgang ist das Eingreifen des Schlüsselbartes in die erste Raste auf der Unterseite des Riegelschaftes. Durch Weiterdrehen des Schlüssels wird der Riegel vorgeschoben, und zwar so lange, bis der Rastenhaken in die nächste Raste an der Oberseite des Riegelschaftes hineingedrückt wird. Bei einfachen Schrankschlössern z. B. ist damit der Schließvorgang beendet. Bei Zimmertüren verwendet man meist zweigängige Schlösser, bei denen der Schließvorgang in der beschriebenen Art noch einmal ausgeführt wird; der Riegel wird dabei noch weiter hinausgeschoben. Sicherheit gegen unbefugtes Öffnen gibt hier nur die Form des Schlüsselloches, die so ausgeführt ist, daß nur ein zum Schloß gehöriger Schlüssel mit geschweiftem Bart (Abb. 2) eingeführt werden kann.

Wesentlich größere Sicherheit bieten Schlösser, bei denen nicht nur eine, sondern mehrere Zuhaltungen eingebaut sind (Abb. 3). Hier ist ein Sperrstift fest in der Mitte auf dem Riegelschaft angebracht, die Zuhaltungen haben ihre Rasten nicht am oberen Rand, sondern als gezackte Schlitze in der Mitte. An ihrem unteren Ende, wo der Schlüsselbart an ihnen vorbeistreicht, sind sie verschieden lang. Der Riegel selbst liegt hinter den Zuhaltungen. Wird der Schlüssel, der gestuft ist (Abb. 4), im Schloß gedreht, so heben die Stufen die verschieden langen Zuhaltungen an, so daß in der Mitte ein schlitzförmiger Durchgang entsteht, durch welchen der Sperrstift weitergeführt werden kann; der Riegel läßt sich nun durch eine weitere Stufe des Schlüsselbartes bewegen.

Eine weitere Sicherung kann durch eine Besatzung eingebaut werden. Diese besteht entweder aus einem Ring (Reifenbesatzung; Abb. 5a) oder aus mehreren Stiften, die im Kreis um den Drehpunkt des Schlüssels angeordnet und auf dem Schloßboden befestigt sind. Der Schlüsselbart (Abb. 5b) muß dann Nuten tragen, sonst läßt er sich nicht drehen. Eine Variation ist die Mittelbruchbesatzung, bei der die Reifen nicht am Schloßboden, sondern an einer Tragplatte angeordnet sind (Abb. 6a). Der Schlüssel dazu ist in der Mitte durchbrochen (Abb. 6b). Abb. 7 zeigt ein Türschloß mit mehreren Zuhaltungen, einem Riegel und der Anlage für die Türklinke. — Vgl. auch Sicherheitsschloß S. 322.

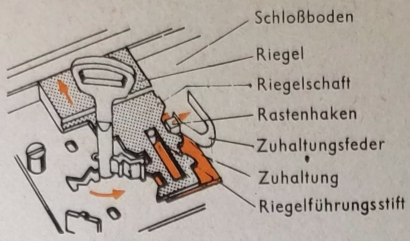


Abb. 1 Türschloß mit einer Zuhaltung

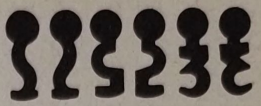


Abb. 2 Bartformen

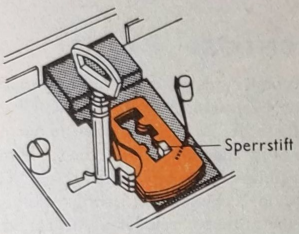


Abb. 3a Türschloß mit mehreren Zuhaltungen

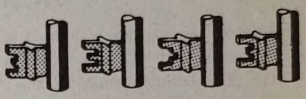


Abb. 4
Schlüssel für Schloß mit mehreren Zuhaltungen

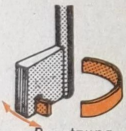


Abb. 5a Besatzung

Abb. 5b Schlüssel für Schloß mit Besatzung

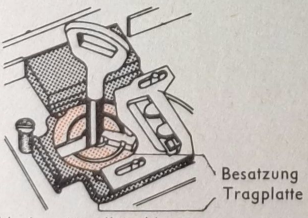


Abb. 6a Mittelbruchbesatzung

Abb. 6b Schlüssel für Schloß mit Mittelbruchbesatzung

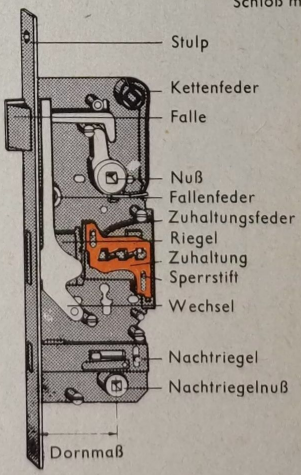


Abb. 7

SICHERHEITSSCHLOSS

Das Kernstück des Sicherheitsschlosses ist ein Zylinder (daher auch Zylinderschloß) Er ist drehbar im Gehäuse gelagert. In geschlossenem Zustand (Abb. 1) drücken Federn die pilzförmigen, senkrecht zur Achse angeordneten Stifte im Gehäuse nach unten. Im Zylinder selbst sind getrennt unterschiedlich lange Stifte angeordnet. Weil die Oberstifte nach unten gedrückt werden, sperren sie die Trennlinie zwischen Zylinder und Gehäuse, wodurch der Zylinder nicht gedreht werden kann. Wenn nun der richtige Schlüssel in den Zylinder gebracht wird (Abb. 2), werden die Stifte so weit hochgedrückt, daß ihre Trennlinie gerade mit der Trennlinie zwischen Zylinder und Gehäuse übereinstimmt. Der Zylinder, der mit dem Riegel in Verbindung steht, kann gedreht, das Schloß also geöffnet werden. Ein falscher Schlüssel hebt nur einen Teil der Sperrstifte auf die richtige Höhe an, so daß die restlichen Stifte immer noch ein Öffnen verhindern (Abb. 3).

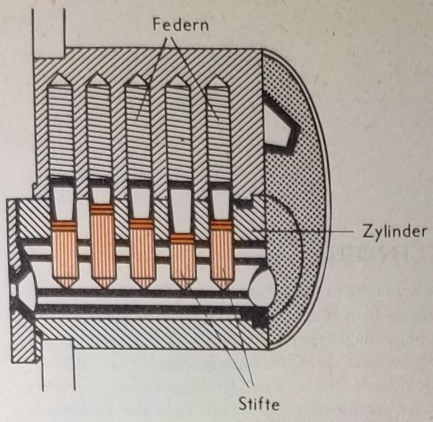


Abb. 1 Geschlossen:
Stifte hindern den Zylinder
am Drehen

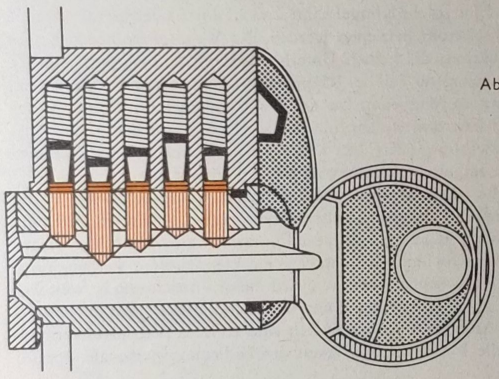


Abb. 2 Offen:
Schlüssel drückt die Stifte hoch;
Zylinder kann gedreht werden

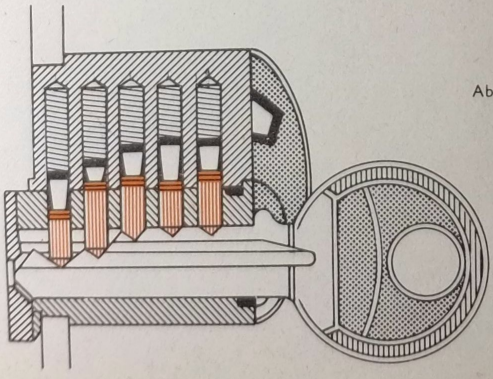


Abb. 3 Falscher Schlüssel:
Nur ein Teil der Stifte wird
genügend hochgehoben,
Zylinder kann sich nicht drehen

KLINGEL

Eine elektrisch betätigte Glocke nennen wir heute in der Regel Klingel. Die Bewegung des Klöppels geschieht hier auf elektromagnetischem Wege. Ein zweipoliger Elektromagnet zieht den Anker an (Abb. 1), der Klöppel schlägt gegen die Glocke. Dabei unterbricht er über einen Unterbrecherkontakt den Stromkreis des Elektromagneten. Dieser läßt den Anker wieder los, der daraufhin zurückfedert. Dabei wird der Kontakt am Unterbrecher über einen federnden Kontakt wieder geschlossen. Daraufhin zieht der Elektromagnet wieder an und das Bewegungsspiel des Ankers beginnt von neuem. Es dauert so lange, wie der Stromkreis durch einen Schalter — in der Regel durch einen Druckknopfschalter — geschlossen bleibt. Eine solche Klingel kann sowohl durch Gleichstrom als auch durch niederfrequenten Wechselstrom betrieben werden. Für Wechselstrombetrieb gibt es noch eine andere Konstruktion, die keinen Unterbrecherkontakt benötigt (Abb. 2). Der vom Elektromagneten angezogene Teil des Klöppels, der Anker, ist polarisiert, d. h., er besteht aus einem permanenten Magneten. Da der Elektromagnet im Rhythmus des Stromwechsels, d. h. der Wechselstromfrequenz, die Pole wechselt, wird der Anker periodisch einseitig angezogen bzw. abgestoßen. Der Klöppel bewegt sich mit der Frequenz des Wechselstromes. Solche Klingeln werden bevorzugt im Fernsprecher verwendet.

Die elektrische Klingel hat die früher üblichen handbetätigten Hausglocken fast völlig verdrängt. In jüngster Zeit wird sie — namentlich beim Fernsprecher — sehr oft durch die Schnarre verdrängt, die in ihrer Konstruktion und Funktionsweise der Gleichstromklingel entspricht, nur daß der schwingende Kontakt keine klöppelartige Verlängerung mehr hat und die Glocke fehlt. Das schnarrende Geräusch dieser Vorrichtung ist weit weniger störend als das schrille Läuten einer Klingel und wird daher überall dort bevorzugt, wo mehrere Fernsprecher in Arbeitsräumen aufgestellt sind (z. B. in Fernsprechvermittlungen, wo lautes Klingeln die Vermittlungstätigkeit des Bedienungspersonals störend beeinflussen könnte).

Abb. 1 Klingelanlage

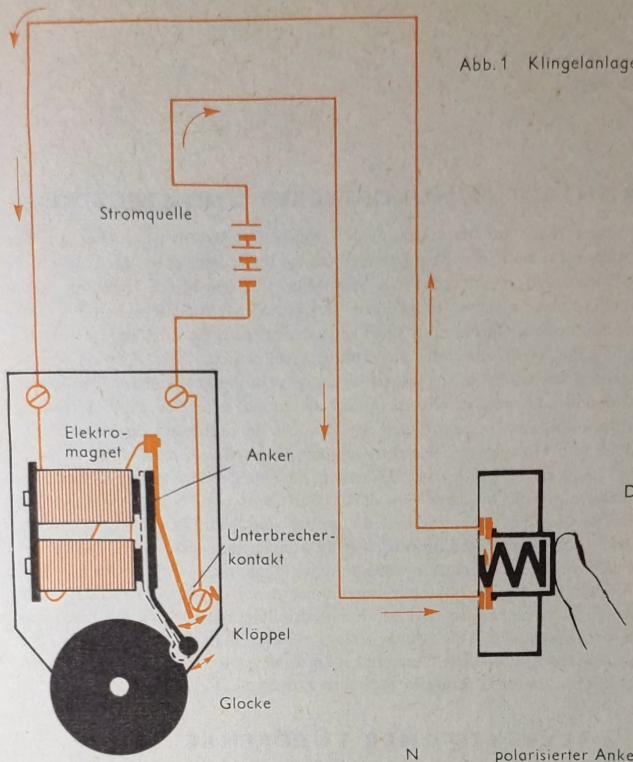
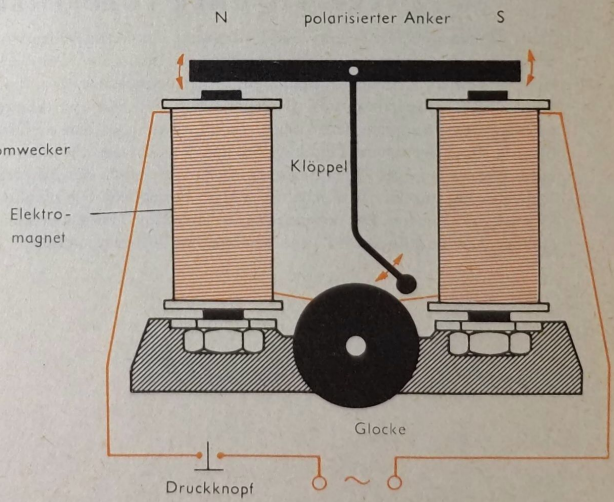


Abb. 2 Wechselstromwecker



SCHUTZKONTAKT (SCHUKOSTECKER UND STECKDOSE)

Die Steckdose dient dem sicheren Anschluß beweglicher Stromverbraucher an das elektrische Versorgungsnetz. In der Regel handelt es sich um einen zweipoligen Anschluß für einphasigen Wechselstrom mit 220 Volt Spannung. Für den selten vorkommenden Gleichstrom lassen sich die gleichen Steckdosen verwenden wie für Einphasen-Wechselstrom. Bei Dreiphasenstrom (Drehstrom 380 Volt), wie er für hohe Leistungen Verwendung findet, ist die Steckdose dreipolig auszubilden. Außer den 2 bzw. 3 Polen für die Leistungsübertragung enthalten die Steckdosen einen Schutzkontakt (Erde bzw. Nulleiter). Mit diesem Schutzkontakt werden alle metallisch leitenden Teile des angeschlossenen Gerätes in Verbindung gebracht, mit denen der Benutzer in Berührung kommen kann, z. B. die Gehäuse von Heizgeräten, Waschmaschinen, Kühlschränken oder die Gestelle von Lampen. Bei Geräten mit isolierenden Bauteilen, die eine Berührung mit Metallteilen durch den Benutzer ausschließen, kann von der Weiterführung des Nulleiters abgesehen werden. Die Sicherheitsmaßnahmen sind in den vom Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) ausgearbeiteten Vorschriften niedergelegt. Die nebenstehenden Abb. 1 u. 2 zeigen eine in die Wand versenkbare Schukosteckdose mit zugehörigem Schukostecker. Die Führung des Nulleiters über die Nulleiterkontakte ist dabei rot gekennzeichnet. Paßnuten, Führungsfalze in Steckdose und Stecker verhindern dabei das Einführen von Steckern ohne Schutzkontakte. Das Schukosystem schützt den Verbraucher vor der Berührung mit spannungführenden Geräteteilen und damit vor elektrischen Schlägen mit ihren bedenklichen, unter Umständen tödlichen Folgen. — Vgl. S. 120.

ELEKTRISCHER TÜRÖFFNER

Zum Öffnen von Haus- und Gartentüren aus der Ferne bedient man sich elektrischer Türöffner, die elektromagnetisch betätigt werden. Eine Kante des Schließbleches besteht aus einem federnden, drehbaren Teil (Rückstellfeder F_1), der durch eine federnde Sperrklinke festgehalten wird (Rückstellfeder F_2). Die Sperrklinke ist zugleich Anker eines Elektromagneten. Zieht dieser sie an, so gibt sie den drehbaren Teil des Schließbleches frei. Bei einem Druck gegen die Tür drückt die Schloßfalle die bewegliche Schließkante beiseite. Diese schnappt nach Ausschalten des Magneten in ihre blockierte Ruhestellung zurück, in welche die seitlich bewegliche Schloßfalle beim Zuklappen der Tür wieder einrastet. Die nebenstehende Abbildung 3 zeigt schematisch den Aufbau eines elektrischen Türöffners und seine beschriebene Wirkungsweise.

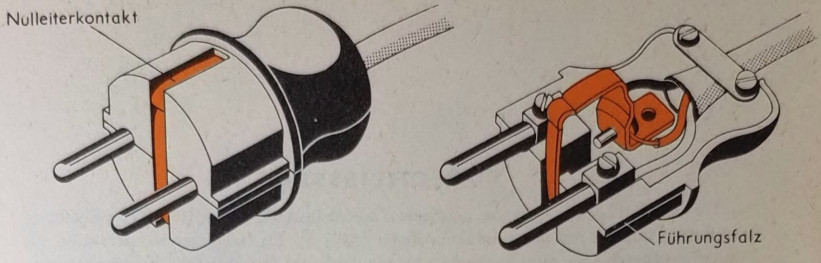


Abb. 1 Schukostecker

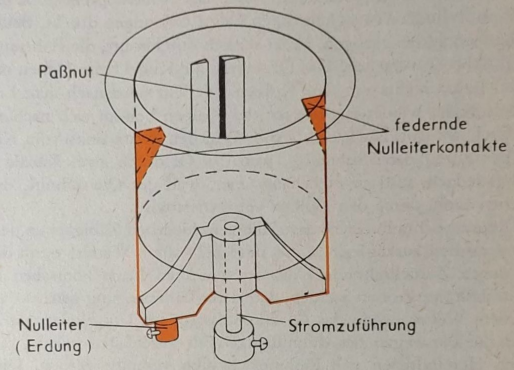


Abb. 2 Schukosteckdose

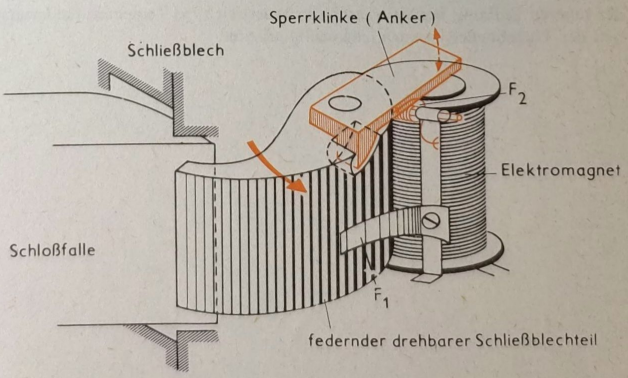


Abb. 3 Elektrischer Türöffner

TÜRSCHLIESSER

Der Türschließer hat die Aufgabe, geöffnete Türen selbsttätig zu schließen. Die einfachste Ausführung arbeitet mit einer Schraubenfeder (Abb. 1). Da bei dieser Konstruktion die Tür heftig zugeschlagen wird, verwendet man in der Regel Türschließer, die das plötzliche Zufallen verhindern und in eine langsame Schließbewegung umwandeln. Derartige Türschließer arbeiten nach dem Prinzip des Stoßdämpfers (s. S. 630), wobei ein Kolben in einem Zylinder Flüssigkeit durch kleine Öffnungen drückt. Beim Öffnen der Tür wird der Kolben zurückgezogen. Er ist seitlich durchbohrt, die Bohrung ist mit einem Kugelventil (Abb. 2) versehen. Das Öl schiebt die Kugel beim Öffnen nach rechts und strömt in den Raum rechts vor dem Kolben. Die Tür wird nach dem Loslassen durch die gespannte Feder wieder zugezogen; der Kolben bewegt sich nach rechts und drückt das Öl durch die Rücklaufkanäle (Abb. 3) in den Raum links vom Kolben. Am Anfang ist die Bewegung dabei schneller, weil das Öl durch zwei Kanäle abfließen kann; zum Schluß jedoch wird sie stets langsamer, weil der Querschnitt, durch den das Öl entweichen kann, durch den Kolben verkleinert wird.

Die Regulierschraube dient dazu, die verschiedenen Zähigkeiten des Öls bei wechselnden Temperaturen auszugleichen. So muß bei kaltem Wetter, wenn das Öl sehr dickflüssig ist, durch Zurückschrauben der am vorderen Ende konischen Regulierschraube der Querschnitt vergrößert werden, damit die Türbewegung genauso schnell erfolgt wie bei warmem Wetter, wenn das Öl dünnflüssiger ist. Umgekehrt muß bei warmem Wetter, wenn die Tür wegen des dünnflüssigen Öls zuschlagen würde, die Rückströmbohrung durch Hereindrehen der Regulierschraube verengt werden. Diese von Wetter und Jahreszeit abhängige Verstellung kann man vermeiden, wenn viskositätsstabile Öle (spezielle Silikonöle) als Füllung verwendet werden. Die Viskosität (Zähigkeit, die auf der inneren Reibung beruht) dieser Öle ändert sich bei Temperaturänderungen kaum, so daß der Türschließer immer gleichmäßig arbeitet.

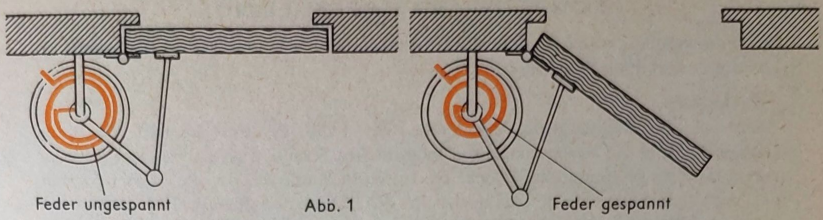


Abb. 1

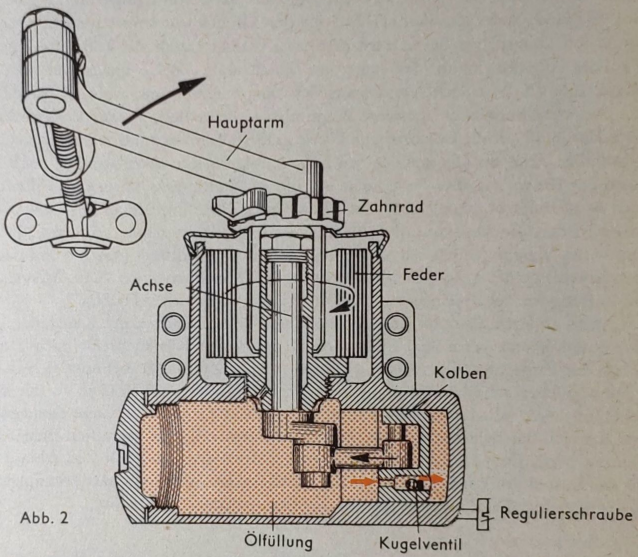


Abb. 2

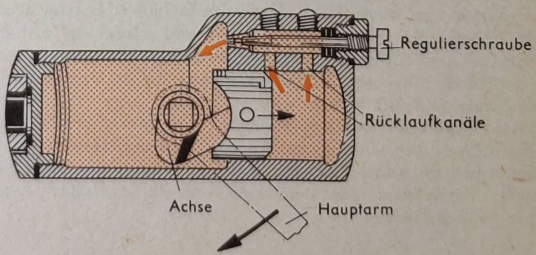


Abb. 3

TOILETTE (WASSERSPÜLUNG)

Die Wasserspülung arbeitet in der Regel entweder mit einem Spülkasten, oder sie ist als Druckwasserspülung konstruiert.

Spülkasten

Zieht man an der Zugkette des Spülkastens (Abb. 2), so hebt sich die hohle Glocke und gibt die Verbindung zum Spülrohr frei. Sobald Wasser durch das Spülrohr stürzt, wird im Hohlraum der Glocke ein Unterdruck erzeugt, der das Wasser zwingt, aus dem Spülkasten durch die Glocke in den Ablauf zu fließen. Der Unterdruck aus dem Ablaufrohr wird dadurch erzeugt, daß das ruhende Wasser (statischer Druck) zu fließen beginnt, wodurch Druckenergie in Geschwindigkeitsenergie umgewandelt wird. Dadurch wird aus dem Hohlraum der Glocke ein sogenannter Heber (Abb. 1). Durch den Unterdruck bei C wird erstmalig Wasser durch das Heberrohr gesaugt. Infolge des Übergewichtes der längeren Wassersäule (B–C) gegenüber der kürzeren Wassersäule (A–B) rutscht erstere aus dem Rohr heraus und zieht so lange Flüssigkeit nach, wie ein Übergewicht besteht. Wenn also C tiefer liegt als der Boden des Gefäßes, wird das Gefäß auf die beschriebene Weise geleert. Die Verwendung eines Hebers ist hier notwendig, denn im allgemeinen wird die Zugkette nur kurz betätigt, nach dem Loslassen der Kette fällt aber die Glocke auf die Auslauföffnung zurück, der direkte Ablauf wird damit unterbrochen. Sinkt der Wasserspiegel im Spülbecken bis zum oberen Einsaugrand der Glocke, so wird Luft angesaugt, die Wassersäule reißt ab. Mit dem Absinken des Wasserspiegels hat sich auch die Schwimmerkugel gesenkt und dadurch das Zulaufventil geöffnet, so daß Wasser neu in den Kasten strömen kann. Mit dem Anstieg der Füllung im Behälter beginnt auch das Ventil wieder zu schließen.

Bei einem anderen System (Abb. 3) öffnet sich beim Anheben der Zugstange der durch eine Gummiplatte verdeckte Ablauf. Auch bei diesen Kästen bleibt nach kurzem Anheben der Zugstange der Ablauf geöffnet. An der Zugstange befindet sich nämlich ein freibeweglicher Schwimmer (a), dessen Auftrieb durch zwei Nocken an der Zugstange gehemmt wird. Wird die Auslauföffnung durch Heben der Zugstange freigegeben, vermindert sich der Schließdruck, der durch die Wassersäule im gefüllten Behälter hervorgerufen wird. Der Auftrieb des Schwimmers überwiegt und hält den Ablauf geöffnet, bis der Kasten vollkommen entleert ist. Dann sinken Zugstange und Ventilplatte ab, und das zulaufende Wasser drückt die Gummiplatte wieder auf den Sitz.

Druckwasserspülung

Hebelspüler (Abb. 4) werden durch Druck auf einen Hebel betätigt. Beim Drücken wird die mit dem Hebel verbundene Hülse mit dem Hubstift gegen die Federkraft verschoben. Dadurch öffnet sich der Entlastungskegel, und das unter Leitungsdruck stehende Wasser fließt durch die Kolbenmitte zum Spülerausgang. Wenn der Gegendruck abgesunken ist, kann der Kolben angehoben werden. Das Anheben geschieht durch einen Nocken und wird durch den Wasserdruck unterstützt. Das in der Leitung stehende Wasser tritt durch die Abgangsdüse in den Abgangsstutzen und gelangt von dort durch das Spülrohr zum Becken. Gleichzeitig wird durch die Druckausgleichsdüse der Druck im oberen Zylinderraum wieder aufgebaut, so daß durch hydraulischen Druckausgleich der Schließvorgang eingeleitet und auch beendet wird.

Zum Öffnen eines Druckknopfspülers (Abb. 5) wird der Vordruck des Wassers ausgenutzt. Nach dem Drücken des Knopfes wird dem Druckwasser über das Entlastungsventil und die Kanäle der Weg in den Abgangsstutzen freigegeben. Das im Leitungsnetz stehende Wasser hebt durch den Vordruck den Kolben an und kann so in den Abgangsstutzen fließen.

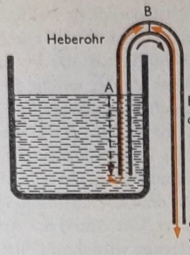


Abb. 1 Heberprinzip

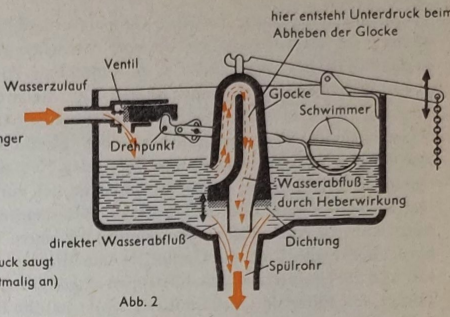


Abb. 2

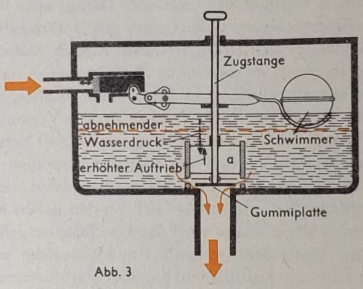


Abb. 3

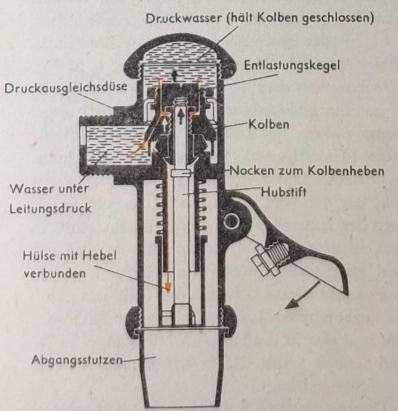


Abb. 4 Funktionsweise des Hebelspülers

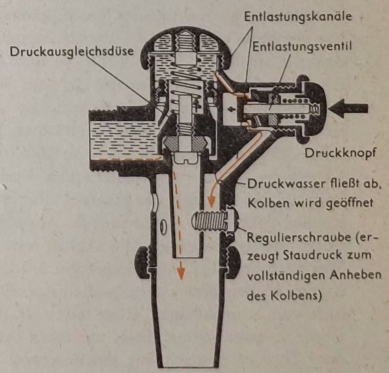


Abb. 5 Funktionsweise des Druckknopfspülers

KLIMAANLAGE

Klimaanlagen haben die Aufgabe, Temperatur und Feuchtigkeit der Luft in geschlossenen Räumen auf Werten zu halten, die vom Menschen als behaglich empfunden werden. Das ist der Fall bei höchstens 19–20° C im Winter bzw. 20–25° C im Sommer und bei einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 35 und 70%. Relative Luftfeuchtigkeit ist das Verhältnis der in der Luft tatsächlich enthaltenen Wasserdampfmenge zu der Menge, welche die Luft bei herrschender Temperatur maximal, d. h. bis zur Sättigung, aufnehmen kann. So besagt eine relative Luftfeuchtigkeit von 70%, daß 70% der bei der herrschenden Temperatur maximal aufnehmbaren Wasserdampfmenge sich zur Zeit in der Luft befinden.

Das Kernstück einer Klimaanlage ist das Klimaaggregat. Hier findet die Luftaufbereitung statt (Abb. 1); Außenluft wird zusammen mit einem Teil der aus dem klimatisierten Raum zurückkehrenden Luft, der Umluft, in eine Mischkammer gesaugt. Der Anteil der Außenluft und der Umluft wird durch Klappen eingestellt. Diese Luftmenge wird durch Filter gereinigt. Die Filter sind meist mit Glaswolle gefüllte Platten; durch die Glaswolle wird die Luft ständig umgelenkt und gibt dabei den Staub ab.

Anschließend an die Reinigung im Filter wird die Luft vorgewärmt. Dazu verwendet man Rohre, die ständig von einem Wärmeträger (entweder Dampf oder Warmwasser) durchströmt werden und außen Rippen tragen, wodurch eine große wärmeabgebende Oberfläche erzielt wird. Die vorzuwärmende Luft strömt an diesen Rippen vorbei. Ein Teil der Luft wird durch Abkühlung entfeuchtet. Je wärmer die Luft ist, um so mehr Wasser kann sie gasförmig aufnehmen. Kühlt man Luft eines bestimmten Wassergehalts ab, so scheidet sich Wasser in feinen Tröpfchen ab. Man kann diesen Vorgang auch in der Natur beobachten, wenn sich nachts durch starken Temperaturabfall Nebel bildet; der Nebel besteht aus feinen Wassertröpfchen, die sich bei sinkender Temperatur durch Kondensierung des Wasserdampfes bilden. Im Kühler der Klimaanlage wird also die Luft entfeuchtet, das Wasser wird ausgeschieden und schlägt sich an den kalten Stellen des Kühlers nieder. Durch die Temperatur des Kühlers wird der Feuchtigkeitsgehalt und die Temperatur der Kaltluft bestimmt. Unter der Kontrolle von Meßgeräten und Reglern werden auf einer Mischstrecke die trockene Kaltluft und die über den Vorwärmer geleitete Warmluft gemischt. Ist die gewünschte Lufttemperatur erreicht, jedoch wegen der starken Trocknung der Kaltluft der Feuchtigkeitsgehalt zu gering, dann wird Wasser mit Düsen fein zerstäubt und der Luft wieder zugemischt, bis der gewünschte Wert der Luftfeuchtigkeit erreicht ist. Dabei kühlt die Luft wieder etwas ab (Verdunstungskälte; s. S. 36). Als letzte Station durchströmt die Luft deswegen einen dampf- oder warmwasserbeheizten Heizkörper, den Nachwärmer, der sie auf die gewünschte Endtemperatur bringt. Er gleicht im Grunde dem Vorwärmer. Hinter diesem Nachwärmer ist der Ventilator oder Zulüfter aufgestellt, der die aufbereitete (klimatisierte) Luft ansaugt und durch Kanäle in die zu klimatisierenden Räume drückt. Durch die stetige Luftzufuhr entsteht in den Räumen ein geringer Überdruck, der die verbrauchte Luft aus dem Raum hinausdrückt. Eine entsprechende Anordnung der Einström- und Abströmkanäle unterstützt diesen Vorgang. Die Abluft teilt sich in zwei Ströme, deren einer wieder der Mischkammer als Umlauf zugeführt wird, und deren anderer durch einen Abzug ins Freie strömt. Neben dieser prinzipiellen Anordnung kennt man noch andere Ausführungsformen von Klimaanlagen. Man teilt z. B. den aufbereiteten Luftstrom vor der Nachwärmung in zwei Ströme, heizt nur einen Strom und mischt die Kalt- und Warmluft in jedem Zimmer je nach der gewünschten Temperatur (Abb. 2). In Klimaschränken ist die gesamte Anlage in kleinerem Maßstab zusammengedrängt.

Geregelt wird die Klimaanlage durch einen Thermostaten (s. S. 40), der den Kühler und den Nachwärmer beeinflußt und so die Lufttemperatur regelt, sowie durch einen Hygrostaten, der den Kühler und die Befeuchtungsanlage steuert und so die Luftfeuchtigkeit in den gewünschten Grenzen hält.

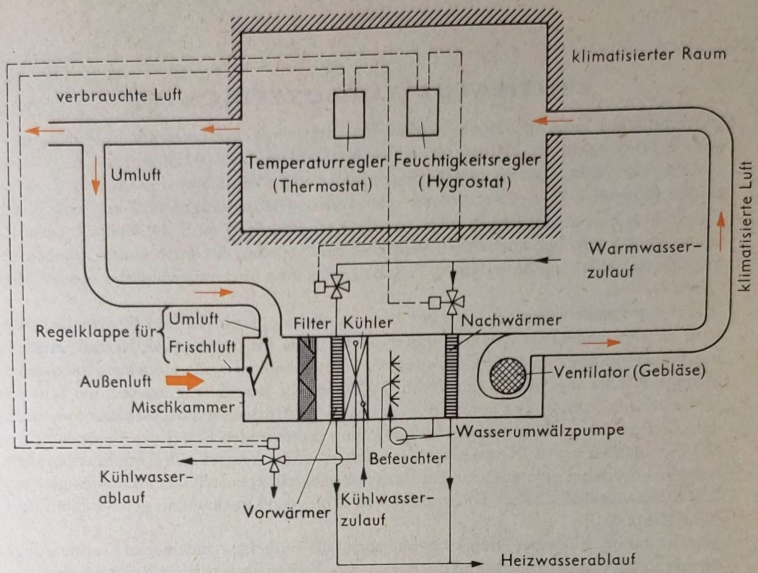


Abb. 1 Schema einer Zentralklimaanlage

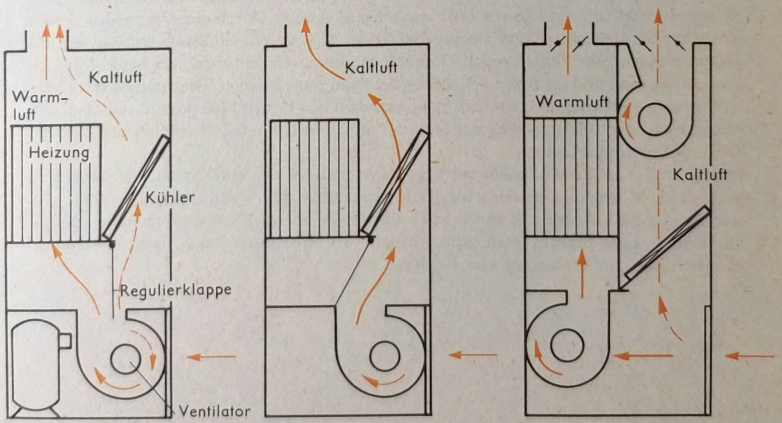


Abb. 2 Schema von Klimaanlagen zur getrennten Erzeugung von Kalt- und Warmluft

VENTILATOR (TURBOVERDICHTER)

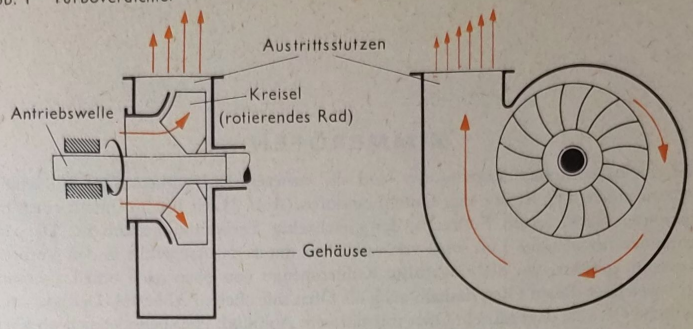
Im technischen Sprachgebrauch werden die Turboverdichter eingeteilt in Ventilatoren (große Fördermengen, kleiner Gegendruck), Gebläse (große Fördermengen, mittlere Drücke) und Kompressoren (große Gegendrücke). Die Verdichter sind im Prinzip in Gehäusen laufende Kreiselräder, die Luft oder andere Gase ansaugen und im verdichteten Zustand nach dem gleichen Prinzip wie die Kreiselpumpen (s. S. 44) weiterfördern. Im allgemeinen Sprachgebrauch ist ein Ventilator ein Propeller, der durch seine schraubenförmige Gestalt den von ihm erfaßten Teil des Luftraumes fortbewegt und ihn beschleunigt (Abb. 2).

Im Prinzip arbeiten alle drei Arten der Turboverdichter gleich. In der Mitte des Gehäuses wird die Luft angesaugt (Abb. 1), und zwar durch ein rotierendes Rad (Kreisel, angetrieben von einem Elektromotor), das aus zwei Kreiselplatten besteht, zwischen denen spiralförmige Kanäle angeordnet sind (Abb. 3). Durch die Beschleunigung tritt die Luft mit größerer Geschwindigkeit unter Druck aus dem Austrittsstutzen des Gebläses aus, nachdem sie den sich in Richtung der Luftströmung erweiternden Kanal des Gehäuses (Abb. 1b) durchlaufen hat. Will man mit Hilfe solcher Verdichter große Druckdifferenzen überwinden, so schaltet man einfach mehrere der oben beschriebenen Räder hintereinander und erhöht so von Rad zu Rad, also von Stufe zu Stufe, den Druck bis zur gewünschten Endhöhe (Abb. 4).

Man kann mit Hilfe einer Drehbewegung auch Luft verdichten, indem man Verdrängungskörper in ein Gehäuse einbaut. Abb. 5 zeigt den Aufbau eines solchen Rotationskompressors: Eine Walze ist exzentrisch in einem zylindrischen Gehäuse untergebracht; am Rand dieser Walze stecken Scheiben, die durch die hohe Drehzahl der Walze nach außen gedrückt werden und deshalb mit ihrem Rand immer am Gehäuse anliegen. Auf diese Weise werden Zellen gebildet, in die Luft einströmt. Durch die Drehung wird der Raum dieser Zelle immer kleiner und so die Luft zusammengedrückt. Durch einen schmalen Schlitz entströmt die verdichtete Luft am anderen Ende. Abb. 6 stellt ein Roots-Gebläse dar. Bei diesem werden zwei flügelförmige Drehkolben über zwei Zahnräder, die beide von gleicher Größe sind und im Eingriff stehen, gegenläufig angetrieben. Die Umrisse der Drehkolben sind so konstruiert, daß der Spalt zwischen den beiden Flügeln und zwischen den Flügeln und dem Gehäuse in jeder Stellung möglichst klein ist, die Flügel sich aber berührungsfrei drehen können.

Der Vorteil von Turboverdichtern liegt darin, daß außer dem Kreisel oder dem Verdränger keine weiteren beweglichen Teile vorhanden sind. Ventile sind hier nicht notwendig, da der Luftstrom kontinuierlich fließt. Die von den Turboverdichtern erzeugte verdichtete Luft braucht man zum Antrieb von Arbeitsmaschinen, zum Starten von Motoren und zur Steuerung von Reglern.

Abb. 1 Turboverdichter



a) Ansicht im Seitenschnitt

b) Ansicht von vorne

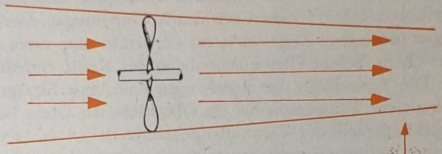


Abb. 2 Ventilator schematisch

Abb. 3 Inneres eines Kreisels

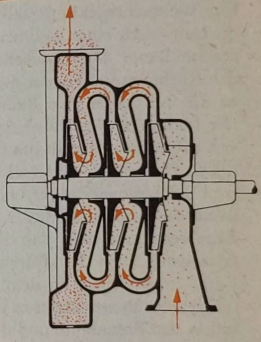


Abb. 4 Mehrstufiger Verdichter

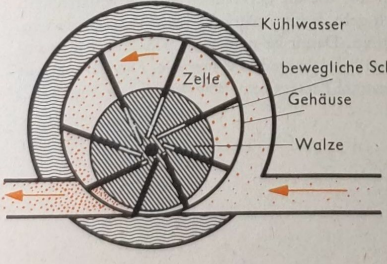


Abb. 5 Rotationskompressor

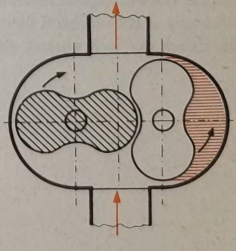


Abb. 6 Kapselgebläse (Roots-Gebläse)

ZIMMERÖFEN

Wohl die bekanntesten Zimmeröfen sind die eisernen Kohlenöfen. Der am häufigsten verwendete Typ ist der sog. Durchbrandofen (Abb. 1). Er hat im Innern einen mit Schamotte ausgekleideten Füllraum, der gleichzeitig Verbrennungsraum ist. Die zum Verbrennen notwendige Luft wird von unten her durch die Aschentür in den Verbrennungsraum geführt, wo die eingefüllte Kohlenmenge von oben nach unten abbrennt. Man bezeichnet diesen Ofen deshalb auch als Ofen mit oberem Abbrand. Der sog. amerikanische Ofen ist dagegen ein Ofen mit unterem Abbrand. Hier befindet sich oberhalb des Verbrennungsraumes ein Füllschacht, aus dem bei fortschreitender Verbrennung auf dem Rost neue Kohle nachrutscht. Füllraum und Verbrennungsraum sind also getrennt (Abb. 2).

Zur besseren Ausnutzung der Wärme sollten die Rauchgase möglichst nicht direkt zum Schornstein abgeführt werden, sondern erst durch Umleitungen dorthin gelangen. Derartige Umleitungen nennt man Züge. Meistens verwendet man dabei die Deckenzüge an der Oberseite des Ofens. Solche Öfen nutzen die in der Kohle enthaltene Wärmeenergie bis zu 80% aus. Die Temperatur der abziehenden Rauchgase beträgt aber immer noch etwa 200° C; die gleiche Temperatur hat die Oberfläche des Ofens bei Vollast.

Eine Weiterentwicklung stellt der Warmluft-Kachelofen dar (Abb. 3a und 3b). Hier wird die Luft durch einen eisernen Einsatzofen erwärmt und zirkuliert dabei durch den zu heizenden Raum. Die abziehenden Rauchgase geben ihre Wärme dann noch zusätzlich an den Kachelmantel ab, der die Wärme speichert und sie im Laufe längerer Zeit wiederum an die ihn umgebende Raumluft abgibt.

Die Funktionsweise ölbeheizter Öfen (Abb. 4 und 5) ist folgende: Aus einem Tank, der sich oft auch innerhalb des Ofenmantels befindet, läuft das Öl in einen Schwimmerbehälter. Der Schwimmer verschließt bei Erreichen eines bestimmten Ölstandes den Zufluß zum Schwimmerbehälter und sorgt infolgedessen immer für gleiche Ölstandshöhe und damit für gleichen Zuflußdruck zum Brenner. Von diesem Behälter läuft das Öl über ein Regelventil, mit dem man die in der Zeiteinheit zur Verbrennung kommende Ölmenge (also damit auch die Wärmeleistung) einstellt, in den Brenner. Dieser hat meistens die Form eines Topfes, in dem das Öl zunächst verdampft, weil es mit den heißen Wandungen des Brennraumes in Berührung kommt. Durch Bohrungen strömt Verbrennungsluft in den Brennraum und der gezündete Öldampf verbrennt kontinuierlich. Die heißen Verbrennungsgase strömen nach oben und heizen die Wandungen des Brennraumes. Diese geben ihre Wärme an die Raumluft ab, die an der Außenwand vorbeistreicht. Damit die Verbrennung regelmäßig vor sich geht, bringt man oft kleine Ventilatoren an, die die notwendige Verbrennungsluft zuführen. Damit ist man vom Schornsteinzug unabhängig. Als Brennstoff dienen verhältnismäßig leicht siedende Heizöle. Die Temperatur der durch den Schornstein abziehenden Heizgase beträgt hier 300–400° C. — Vgl. S. 52.

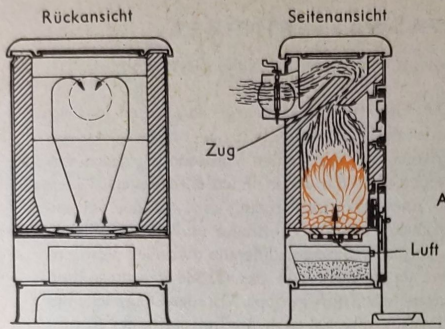


Abb. 1 Eiserner Durchbrandofen mit Deckenzug, Schüttelrost und Aschtangschale

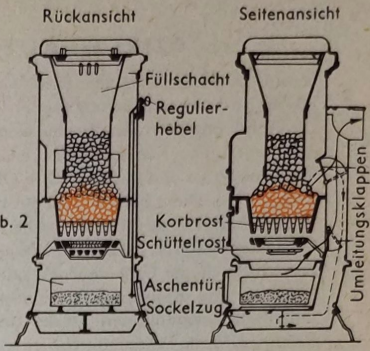


Abb. 2 Eiserner Ofen mit unterem Abbrand (amerikanischer Ofen)

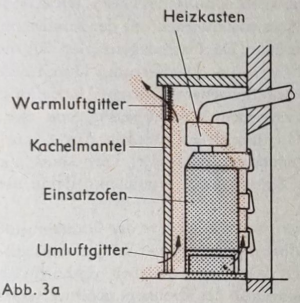


Abb. 3a
Warmluft-Kachelofen mit Einsatz und Heizkasten

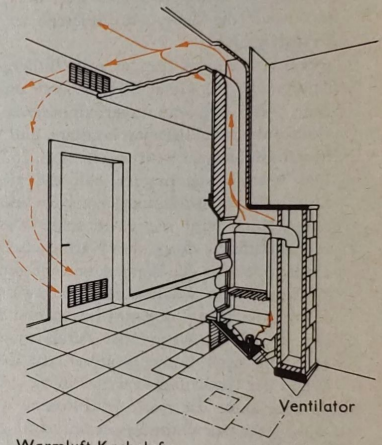


Abb. 3b Warmluft-Kachelofen mit Ventilator für Mehrraumheizung

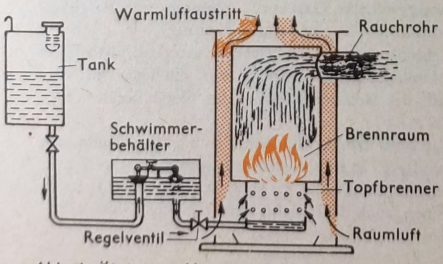


Abb. 4 Ölofen mit Verdampfungsbrenner

a) Ventilator unterhalb des Brenners
b) Ventilator seitlich am Brenner

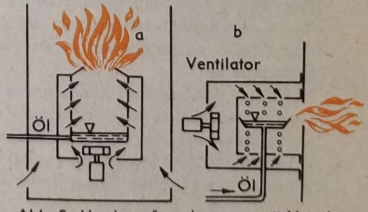


Abb. 5 Verdampfungsbrenner mit Ventilator

DURCHLAUF-GASWASSERHEIZER

Beim Durchlaufwasserheizer wird Wasser im Durchlauf durch das Gerät erwärmt. Das Wasser ist daher stets leitungsfrisch.

Die Abbildung zeigt das Schema eines Durchlauf-Gaswasserheizers mit seinen wichtigsten Teilen. Das Kernstück des Gerätes ist der Wärmetauscher, der innen von Wasser durchflossen ist und dessen äußere Oberfläche von den heißen Verbrennungsgasen umströmt wird. Diese heißen Gase geben einen Großteil der in ihnen enthaltenen Wärme an die Oberfläche des Wärmetauschers ab. Dieser Wärmeübergang wird von der Wärmeübergangszahl (vgl. S. 296), die hauptsächlich von der Strömung und der stofflichen Beschaffenheit der Gase abhängt, und von der Temperaturdifferenz zwischen Verbrennungsgas und Rohroberfläche bestimmt; da er auch von der Größe der umspülten Oberfläche beeinflußt wird, ist die Außenseite der Rohre gerippt. Von der Oberfläche des Rohres wird die Wärme durch Leitung im Rohrmaterial nach der Innenseite des Rohres transportiert. Je besser die Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Materials ist, um so größer ist die Menge der transportierten Wärme. Von der Rohrinnenseite geht dann die Wärme auf das strömende Wasser über, wobei die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers sowie die Temperaturdifferenz zwischen Rohr und Wasser die ausschlaggebenden Faktoren sind.

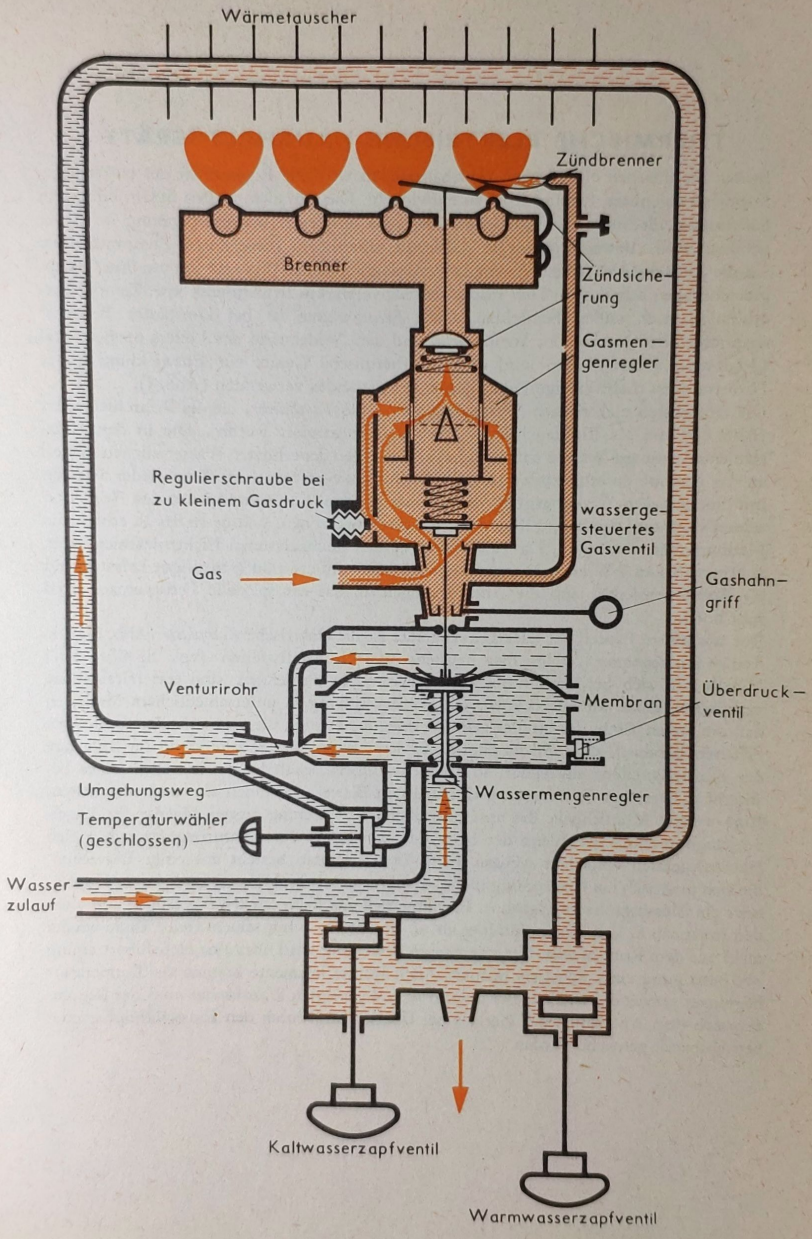
Der Brenner sorgt für die vollständige, einwandfreie Verbrennung des Gases. Die Zündflamme hält das Gerät betriebsbereit und sorgt im Zusammenwirken mit der Zündsicherung dafür, daß kein unverbranntes Gas ausströmen kann. Der Gasmengenregler hält die Gaszufuhr zum Brenner konstant und schützt das Gerät vor Überlastung. Durch eine Membran und ein Venturirohr (s. S. 262) wird das wassergesteuerte Gasventil beeinflußt. Der Wassermengenregler hält die eingestellte Wassermenge (unabhängig von dem Druck der Wasserleitung) konstant, indem er den Leitungsdruck drosselt. Am Temperaturwähler wird die gewünschte Warmwassertemperatur eingestellt; man kann mit seiner Hilfe die durch den Wärmetauscher fließende Wassermenge regeln und damit die Endtemperatur des Wassers beeinflussen.

Will man dem Wasserheizer Warmwasser entnehmen, so ist zunächst der Gashahngriff in die Anzündstellung zu bringen und das am Zündbrenner ausströmende Gas anzuzünden. Durch die Wärme der Zündflamme bewegt sich das freie Ende einer Bimetallfeder (s. S. 40) nach unten, wodurch das Zündsicherungsventil des Brenners geöffnet wird. Wenn der Gashahngriff weiter in die „Auf"-Stellung geschwenkt wird, kann das Hauptgas bis unter das noch geschlossene wassergesteuerte Gasventil treten.

Wird jetzt das Warmwasserzapfventil geöffnet, so entsteht durch das fließende Wasser vor dem Venturirohr ein Staudruck, an seiner engsten Stelle jedoch ein Unterdruck. Staudruck und Unterdruck wirken von unten bzw. oben auf die Membran und heben sie bei Durchfluß einer Mindestwassermenge so weit an, daß das wassergesteuerte Gasventil gegen den Druck einer Ventilfeder voll geöffnet wird. Das Gas fließt zum Brenner und entzündet sich an der Zündflamme. Die aufsteigenden Verbrennungsgase erhitzen das durch den Wärmetauscher fließende Wasser. Bei Wassermangel überwiegt die Kraft der Ventilfeder und schließt das wassergesteuerte Gasventil, wodurch eine Beschädigung des Wärmetauschers ausgeschlossen wird (Wassermangelsicherung).

Der gleiche Vorgang spielt sich beim Schließen des Warmwasserzapfventils ab: Mit Ende des Wasserdurchflusses tritt an der Membran Druckausgleich ein, die Gasventilfeder schließt das wassergesteuerte Gasventil, der Brenner erlischt; das Gerät bleibt weiter betriebsbereit.

Stellt man das Gas zum Zündbrenner ab oder erlischt die Zündflamme aus irgendeinem Grunde, so erkaltet die Bimetallfeder und geht in ihre Ausgangslage zurück. Das Zündsicherungsventil wird durch die Federkraft geschlossen. Es kann kein Gas zum Brenner gelangen und dort unverbrannt ausströmen, auch dann nicht, wenn das Warmwasserzapfventil geöffnet ist und Wasser durch das Gerät fließt.


Wärmetauscher
Zündbrenner
Brenner
Zündsicherung
Gasmengenregler
Regulierschraube bei zu kleinem Gasdruck
wassergesteuertes Gasventil
Gas
Gashahngriff
Venturirohr
Membran
Überdruckventil
Umgehungsweg
Wassermengenregler
Temperaturwähler (geschlossen)
Wasserzulauf
Kaltwasserzapfventil
Warmwasserzapfventil

THERMISCHE ELEKTRISCHE HAUSHALTGERÄTE I

In den thermischen elektrischen Haushaltgeräten wird die Eigenschaft des elektrischen Stromes ausgenützt, Stromwärme zu entwickeln. Die den elektrischen Strom bildenden Elektronen, die aus dem elektrischen Feld (das durch die Betriebsspannung im Leiter gebildet wird) Bewegungsenergie gewinnen, übertragen diese durch Zusammenstöße auf die den Leiter bildenden Atome bzw. Moleküle, so daß diese stärker um ihre Gleichgewichtslagen schwingen. Dies macht sich als verstärkte Erwärmung bzw. Temperaturerhöhung nach außen bemerkbar. Diese Stromwärme ist bei konstanter Betriebsspannung dem Quadrat der Stromstärke und dem Widerstand des Leiters proportional (Joulesches Gesetz). Man wird also für thermische Geräte zur Entwicklung hoher Stromwärmen drahtförmige Leiter hohen Widerstandes verwenden (Abb. 1).

Die einfachsten elektrischen Wärmegeräte sind die *Tauchsieder*, die als Rohrtauchsieder (Abb. 2 a) und als Ringtauchsieder (Abb. 2b) konstruiert werden. Die in den Heizelementen erzeugte Wärme wird durch das Aufsteigen der erhitzten Wasserteilchen schnell an das gesamte zu erhitzende Flüssigkeitsvolumen weitergegeben. Tauchsieder arbeiten mit einem hohen Wirkungsgrad, da sich nur geringe Wärmeverluste an den Topf und seine Umgebung ergeben, während fast die gesamte erzeugte Wärme an das zu erhitzende Medium abgegeben wird. Da Tauchsieder zu den hochbelasteten Elektrowärmegeräten gehören (bis zu 7 W/cm^2), wobei Ringtauchsieder um etwa 30% niedriger belastet sind als Rohrtauchsieder, sind die Anforderungen an das oft spezielle Fertigungsmaterial sehr hoch.

Der wichtigste Bauteil der Elektrokochgeräte ist die elektrische *Kochplatte* (Abb. 3). Die Temperaturregelung erfolgt hier meistens über Bimetallstreifen (vgl. S. 40): Zwei Metalle, die sich bei Erwärmung verschieden stark ausdehnen, sind fest miteinander verbunden. Beide Metalle dehnen sich bei Erwärmung in unterschiedlichem Maße, so daß am freien Ende des Streifens eine Verbiegung erfolgt, die man zum Betätigen eines Schalters benutzen kann. Macht man daher den Abstand des Schalters von der Ruhelage des Bimetallstreifens einstellbar, so wird das Bimetallschaltelement innerhalb eines bestimmten Bereiches bei den unterschiedlichsten Betriebszuständen ein- und ausschalten. Eine weitere Möglichkeit, die unterschiedliche Ausdehnung zweier Metalle für Regelvorgänge auszunützen, bietet der Invarstab, wie er als Temperaturbegrenzer in vielen Haushaltgeräten eingebaut werden kann. Der Invarstab besteht aus einer Legierung, die sich praktisch bei Erwärmung nicht ausdehnt; er wird mit einem Ende in ein Kupfer- oder ein Messingrohr eingespannt. Erwärmt sich das Rohr, so wird es länger und zieht den Invarstab in sich hinein, kühlt es ab, so tritt der Stab mit seinem freien Ende wieder mehr aus dem Rohr heraus. Die so erzeugte Bewegung wird über eine Hebelübertragung zur Betätigung eines Schalters benutzt. Auch Bimetallelemente können als Temperaturbegrenzer verwendet werden. Bei dem in Abb. 4 gezeigten *Wasserkocher* muß der Begrenzer nach dem Abschalten des Gerätes bei Überhitzung durch den Einstellknopf wieder betriebsbereit gemacht werden.

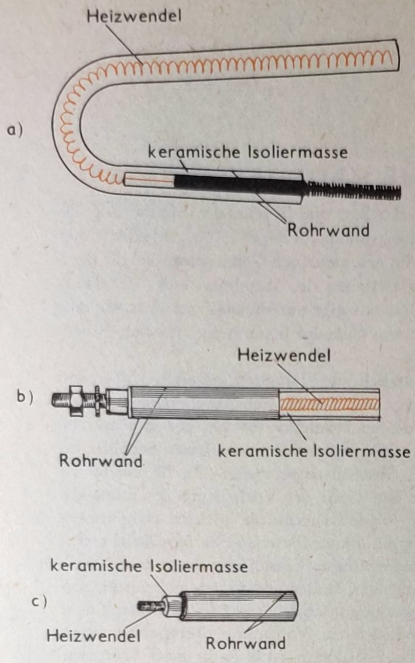


Abb. 1 Ausführungsformen von Rohrheizkörpern in elektrischen Kleingeräten

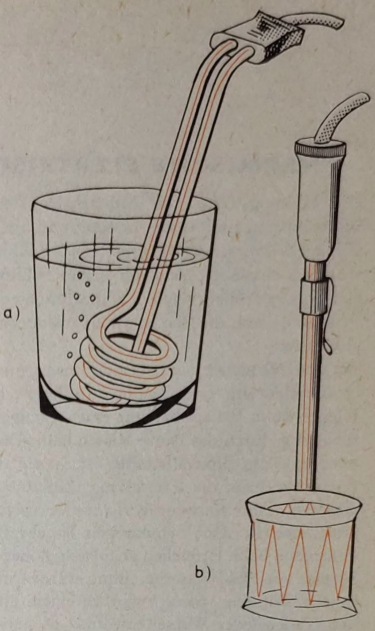


Abb. 2 Rohrtauchsieder a) und Ringtauchsieder b)

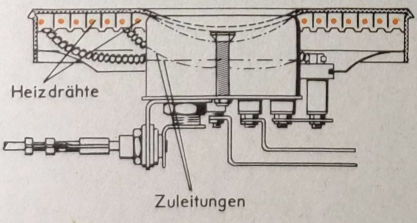


Abb. 3 Schnitt durch eine Kochplatte

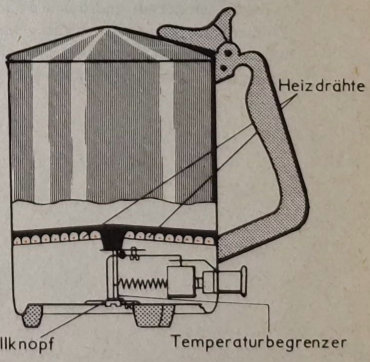


Abb. 4 Schnitt durch einen Wasserkocher

THERMISCHE ELEKTRISCHE HAUSHALTGERÄTE II

Die Wirkungsweise von Tauchsieder, Wasserkocher und Kochplatte beruht auf der Wärmeübertragung durch Leitung und Strömung. Beim *Brotröster* (Abb. 5) bedient man sich der Wärmestrahlung. Durch zwei Schlitze im geschlossenen Gehäuse werden die Brotscheiben eingesetzt und auf einem Schlitten zwischen die Strahlungsfelder der Heizelemente gedrückt. Nach dem gewünschten Bräunen gibt ein Bimetall-Schaltorgan eine Federkraft frei, die den Schlitten wieder aus dem Gehäuse heraushebt und den Röster abschaltet.

Bei den *Heizkissen* unterscheidet man grundsätzlich zwei Bauarten, nämlich Kissen mit Stufenschaltung und Temperaturüberwachung und Kissen mit Temperaturregelung. Diese zweite Bauart hat nur einen einzigen dicken Heizleiter (60 W), der in Einkreisschaltung durch das ganze Kissen läuft. Der Stufentemperaturregler, dessen Schaltorgan wiederum ein Bimetallstreifen ist, ist auf drei Abschalttemperaturen (80, 70 und 60° C) fest einstellbar; die Einstellung erfolgt über den Grad der Vorheizung des Bimetallstreifens (Abb. 6). Bei niedrigster Vorheizung (Stufe III) wird die höchste Temperaturstufe erreicht. Der Schutzregler ist ebenfalls ein Bimetallstreifen; er unterbricht den Stromfluß beim Erreichen unzulässig hoher Temperaturen (Einstellung etwa auf 85° C).

Geräte zur Heißwasserbereitung werden in Speicher, Boiler und Durchlauferhitzer eingeteilt. Bei den *Speichern* wird in einem gut wärmeisolierten Wasserbehälter durch eine Art Tauchsieder Wasser erwärmt; es steht jederzeit zur Verfügung (Temperatur etwa 85° C). Der stufenlose Temperaturregler (Abb. 7b) des in Abb. 7a in zwei Schnitten gezeigten Kleinspeichers ist ein Bimetallregler von besonderer Konstruktion: Der über das Reglerrohr erwärmte Bimetallstreifen biegt sich nach oben durch und überträgt seine Kraft auf eine Antriebswippe, die ihrerseits durch eine Schaltfeder so lange nach unten gedrückt wird, bis die Kraft des Bimetalls die Gegenkraft der Feder überwindet. Nun springt die Wippe nach oben und öffnet dabei die Kontakte. Bei ausgeschaltetem Heizelement oder durch Warmwasserentnahme (wobei Kaltwasser nachströmt) kühlt sich das Bimetall wieder ab und läßt den Schaltvorgang im umgekehrten Sinne ablaufen. Durch Drehen am Temperaturwähler verändert sich der Träger des Sprungschaltwerkes in seiner Lage zum Bimetall und bewirkt dadurch eine stufenlose Verschiebung des Reglerspiels innerhalb des Bereiches von etwa 35° C bis 85° C.

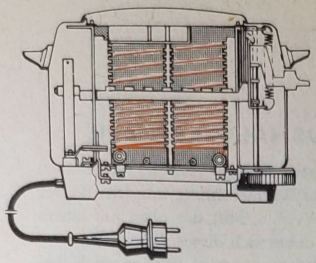


Abb. 5 Brotröster

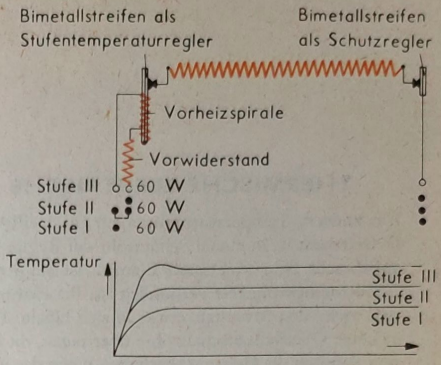


Abb. 6 Schaltschema eines Heizkissens

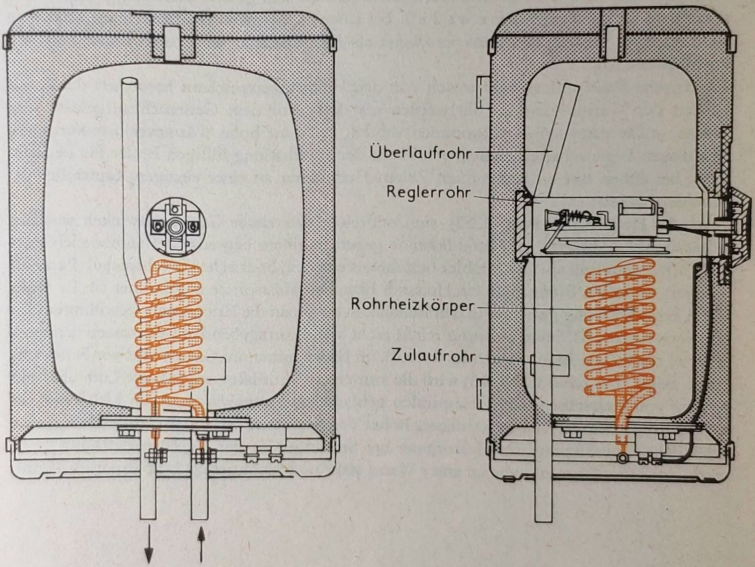


Abb. 7a Schnitt durch einen Kleinspeicher

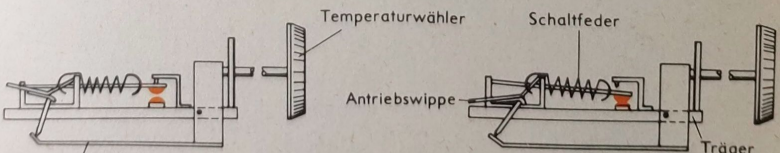


Abb. 7b Temperaturregler von Abb. 7a

THERMISCHE ELEKTRISCHE HAUSHALTGERÄTE III

Ein anderes Temperaturreglerorgan für Heißwasserspeicher zeigt Abb. 8. Neben dem Heizelement ist in einem Schutzrohr der Regler in enger Wärmefühlung mit dem Wasser angebracht. Sein wichtigstes Element ist ein Invarstab (vgl. S. 340), der oben mit einem Ausdehnungsrohr fest verbunden ist. Bei Erwärmung dehnt sich dieses Rohr etwas aus und zieht den Invarstab etwas in sich hinein. Diese Bewegung wird über einen Hebel auf eine Quecksilberschaltröhre übertragen, die bei einer einstellbaren Temperatur kippt und dadurch die Heizung abschaltet. Wenn das Wasser abkühlt, so laufen die Vorgänge in umgekehrter Reihenfolge ab, die Heizung wird wieder eingeschaltet.

Bei den *Durchlauferhitzern* (Gasdurchlauferhitzer vgl. S. 338) wird das Wasser erst bei der Entnahme erhitzt. Die Geräte müssen deshalb für eine sehr große Heizleistung eingerichtet sein (etwa 12 kW gegenüber etwa 2 kW bei einem Kleinspeicher). Im Prinzip kann man sie nach ihrer technischen Funktionsweise als Kleinspeicher mit extrem hoher Leistung ansprechen (Abb. 9).

Elektrische *Boiler* unterscheiden sich von den Heißwasserspeichern besonders durch das Fehlen der Wärmeisolation. Sie werden erst kurz vor dem Gebrauch aufgeheizt, das Wasser sollte dann sofort entnommen werden, da sonst hohe Wärmeverluste auftreten. Mit diesen Eigenschaften eignen sich die in der Anschaffung billigen Boiler für Bedarfsfälle, bei denen nur zu bestimmten Zeiten Heißwasser an einer einzigen Zapfstelle entnommen werden soll.

Auch für Heizzwecke (vgl. S. 52) sind zahlreiche elektrische Geräte entwickelt worden. *Wandstrahler* (Abb. 11) und Strahlkamine geben in einem begrenzten Raumbereich starke Wärmestrahlung ab. Der Strahler besteht aus einem zylindrischen Blechspiegel (Parabolspiegel), in dessen Brennachse ein Heizstab bzw. eine Heizspirale angeordnet ist. Er lenkt die Wärmestrahlung gerichtet in den Bereich, in dem man die Erwärmung bestimmter Objekte erreichen will. Seine Leistung reicht nicht aus, die umgebenden Luftmassen nennenswert zu erwärmen. Man verwendet ihn z. B. im Badezimmer, im Garten und vor Schaufenstern. Beim *Heizfächer* (Abb. 10) wird die von einem Ventilator angesaugte Luft über ein System von Heizstäben oder Heizspiralen geblasen und angewärmt. Auch hier kann ein Bimetallregler das Erreichen unzulässig hoher Temperaturen verhindern, insbesondere eine schädliche Überhitzung der Heizorgane bei Störungen in der Ventilatorwirkung (z. B. wenn der Heizfächer zu nahe an einer Wand steht und nicht genug Luft ansaugen kann).

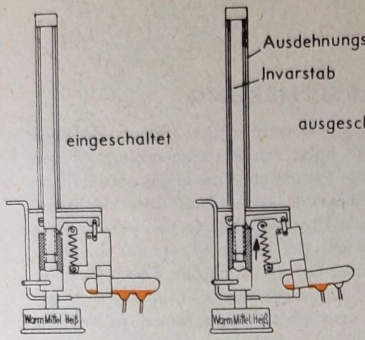


Abb. 8 Temperaturregler für Heißwasserspeicher

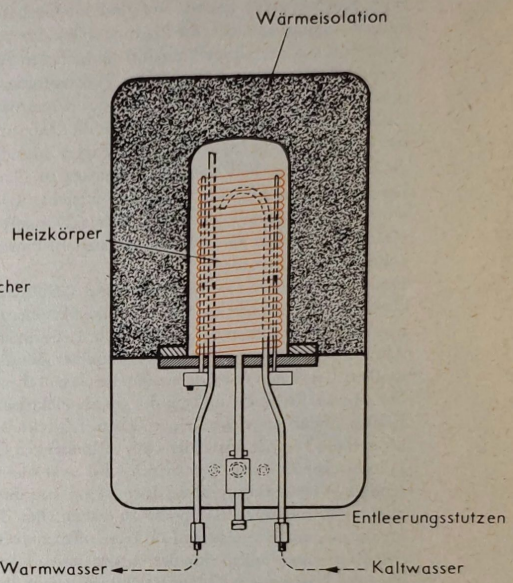


Abb. 9 Durchlauferhitzer

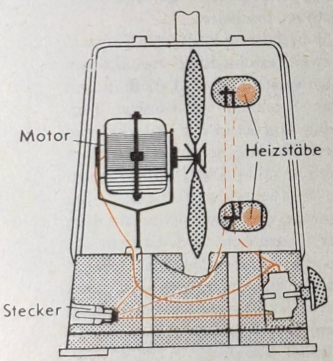


Abb. 10 Heizfächer

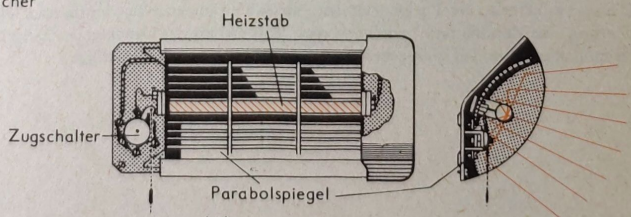


Abb. 11

GASHERD UND GASSICHERUNG

Die Funktionsweise des Gasherdes ist ähnlich der des Bunsenbrenners (Abb. 1). Da auch beim Kochen oder Backen auf und im Gasherd hohe Temperaturen erzeugt werden müssen, genügt es nicht, die Flamme selbst den zur Verbrennung des Gases notwendigen Sauerstoff aus der Umgebungsluft herbeiholen zu lassen. Die Luft und damit der Sauerstoff muß dem Gas schon vor der Verbrennung in Überschuß beigegeben werden. Dies geschieht durch zweckentsprechende Konstruktion des *Gasbrenners* (Abb. 2). Beim Öffnen des Herdhahnes strömt durch die Hauptdüse Gas ins Mischrohr, dessen Eingang als Venturirohr (s. S. 262) mit verengter Mündung ausgebildet ist. Das Gas wird gezwungen, einen Teil seines Vordruckes in Geschwindigkeit umzusetzen, so daß ein Unterdruck am Eingang der Düse entsteht, wodurch die Verbrennungsluft angesaugt wird. Der dargestellte Brenner ist als Doppelbrenner ausgebildet, d. h., sowohl der Kranz der großen als auch der kleinen Flammen kann für sich über getrennte Mischrohre beschickt werden.

Das Funktionieren des Backofen- und Grillbrenners beruht auf dem gleichen Prinzip; allerdings werden hier die Flammen nicht in einem Bündel zusammengefaßt, sondern brennen einzeln auf einem als Ring oder in U-Form angelegten Brenner (Abb. 3).

Alle modernen Gasherde müssen mit einer Zündsicherung versehen sein, die beim ungewollten Erlöschen der Gasflamme die Gaszufuhr zum Brenner abschaltet.

Die physikalische Grundlage der thermoelektrischen Zündsicherung bildet der Seebeck-Effekt: Wenn in einem elektrischen Leiterkreis aus zwei verschiedenen metallischen Stoffen die Temperaturen der zwei verbindenden Lötstellen verschieden sind, fließt in dem Leiterkreis ein Strom. Der Strom wird zwar nur von einer Spannung von wenigen Tausendstel Volt hervorgerufen, doch ist ein von ihm erregter Magnet in der Lage, ein Gewicht von mehreren Kilopond zu halten. Bei der Zündsicherung reicht der erzeugte Strom aus, um das Gasventil am Herd offen zu halten (Abb. 4 und 5). Das Thermoelement enthält in seiner Spitze eine der vorgenannten Lötstellen. Wird sie erhitzt, fließt ein Strom über die Wicklung des Magneteinsatzes, erregt den Magneten, und dieser wiederum zieht die Ankerplatte an, so daß die Gaszufuhr zum Brenner freigegeben wird. Erlischt der Brenner, hört mit dem Abkühlen des Thermoelementes auch der Stromfluß auf. Dadurch bricht das magnetische Feld um den Magnetkern zusammen, die Ankerplatte wird durch Federkraft in ihre Ausgangslage zurückgeholt und schließt das Gasventil. Beim Zünden des Brenners muß der Druckknopf betätigt werden, um den Gasweg mechanisch zu öffnen. Nach etwa 3 bis 4 Sekunden kann der Druckknopf losgelassen werden, denn dann hat das Thermoelement seine Arbeit aufgenommen.

Zur Wirkungsweise der *Bimetallsicherung* vgl. S. 340. Hier ist im Gegensatz zur thermoelektrischen Zündsicherung immer eine Zündflamme notwendig, da der Bimetallstreifen viel träger arbeitet als ein Thermoelement. Natürlich kann auch bei der thermoelektrischen Sicherung eine Zündflamme benutzt werden. Das erspart das Drücken des Ventilknopfes, man muß aber dann den Gasverbrauch der Zündflamme in Kauf nehmen.

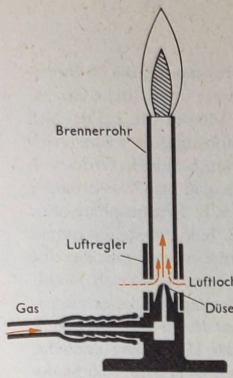


Abb. 1 Bunsenbrenner

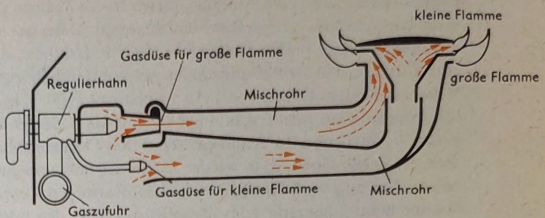


Abb. 2 Gasbrenner (Doppelbrenner mit getrennter Gaszuführung für kleine und große Flamme)

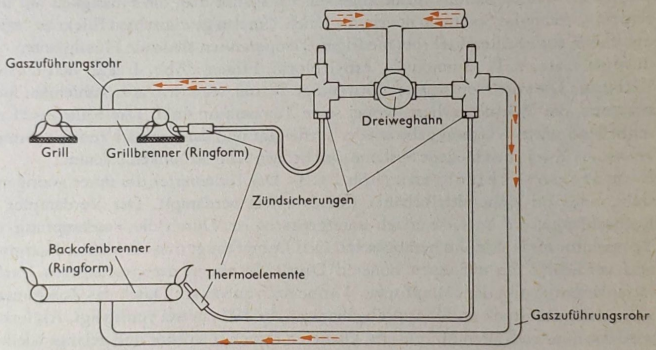


Abb. 3 Backofen- und Grillbrenner

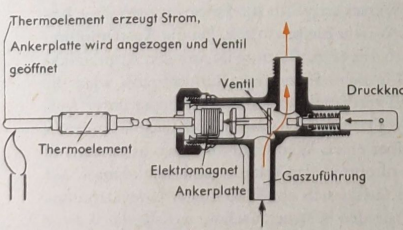


Abb. 4 Funktionsweise der thermoelektrischen Zündsicherung

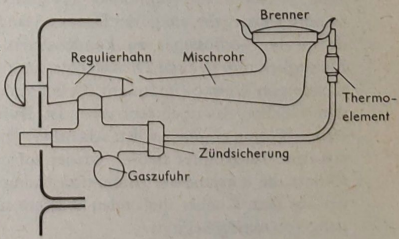


Abb. 5 Einbauschema der thermoelektrischen Zündsicherung an einem Einfachbrenner

KÜHLSCHRÄNKE

Kühlschränke haben die Aufgabe, ihrem Inhalt Wärme zu entziehen und so die im Innenraum herrschende Temperatur herabzusetzen. Dazu nutzt man zwei physikalische Gesetzmäßigkeiten aus: 1. Der Siedepunkt einer Flüssigkeit, d. h. die Temperatur, bei der sich eine Flüssigkeit in Dampf umwandelt, ist vom Umgebungsdruck abhängig. So wandelt sich Wasser bei einem Druck von 1 Atmosphäre bei 100° C in Dampf um, bei einem Druck von 0,1 Atmosphären jedoch schon bei 46° C. Dies bedeutet aber auch, daß man Wasserdampf von z. B. 50° C und 0,1 Atmosphären durch Druckerhöhung auf z. B. 1 Atmosphäre ohne weiteres verflüssigen, d. h. wieder in Wasser umwandeln kann. 2. Jede Flüssigkeit nimmt beim Übergang vom flüssigen zum dampfförmigen Zustand Wärme auf und gibt dieselbe Wärme beim Übergang vom dampfförmigen in den flüssigen Zustand wieder ab. Wählt man nun eine Flüssigkeit, deren Siedepunkt bei normalem Druck unter der zu erzeugenden niedrigen Temperatur liegt, so wird diese Flüssigkeit schon bei diesen niedrigen Temperaturen verdampfen und dabei Wärme aufnehmen, die sie der Umgebung entzieht. Bringt man den entstehenden Dampf auf hohen Druck, so wird er, da ja dann sein Siedepunkt höher liegt, schon bei Abkühlung auf Raumtemperatur flüssig werden und dabei Wärme als Kondensationswärme abgeben. Entspannt man die Flüssigkeit auf normalen Druck, so kann das Spiel von neuem beginnen. Um den gewünschten Effekt zu erzielen, benutzt man sog. Kältemittel (bei niedrigen Temperaturen siedende Flüssigkeiten oder verflüssigte Gase, z. B. Ammoniak, Äthylchlorid, Frigen). Abb. 1 zeigt den entstehenden Kreislauf: Die zum Verdampfen notwendige Wärme wird dem abzukühlenden Raum entnommen, der Wärme verliert, wobei seine Temperatur sinkt. Das Kältemittel wird anschließend unter Wärmeabgabe wieder verflüssigt und dann wieder zum Verdampfen gebracht. — Zwei verschiedene Systeme sind bei den Kühlschränken bekannt:

Kompressorkühlschrank (Abb. 2 u. 3): Das Kältemittel, das unter geringem Druck steht, wird im Kältemittelbehälter (Verdampfer) verdampft. Der Verdampfer ist eine Rohrschlange, die im Gefrierfach untergebracht ist. Durch die Verdampfung wird die Temperatur im Kühlraum herabgesetzt. Den Dampf saugt nun ein kleiner Kompressor an und verdichtet ihn auf einen höheren Druck. In einem nachgeschalteten Verflüssiger (Kondensator) gibt der Dampf seine Wärme nach außen ab. Durch das Zusammenwirken von erhöhtem Druck und Wärmeabgabe wird das Kältemittel verflüssigt. Als letzte Phase wird das flüssige Kältemittel auf den kleineren Druck entspannt und gelangt wieder in den Verdampfer. Die Innentemperatur des Kühlschranks regelt ein Thermostat (s. S. 40), der über ein Relais (s. S. 124) den Motor des Kompressors ein- oder ausschaltet.

Absorberkühlschrank (Abb. 4): Der Absorberkühlschrank arbeitet ohne Kompressor. Die Druckerzeugung erfolgt in einem meist elektrisch beheizten Kocher oder Austreiber, der mit stark ammoniakhaltigem Wasser angefüllt ist. Erwärmt man diese Lösung, so dampft das Ammoniak aus und das Wasser bleibt zurück. Da die Ausdampfung ständig weitergeht, steigt der Druck so lange an, bis er groß genug ist, um den Ammoniakdampf im Verflüssiger zu kondensieren. Wie beim Kompressorkühlschrank wird die Flüssigkeit nun in einer Drossel entspannt und verdampft anschließend wieder unter Aufnahme von Wärme (im Innern des Schrankes). Das schwach ammoniakhaltige Wasser aus dem Kocher, das noch sehr warm ist, läuft über einen Wärmetauscher, wo es einen Teil seiner Wärme abgibt, in den Absorber. Hier nimmt es den reinen Ammoniakdampf, der aus dem Verdampfer strömt, wieder auf und sättigt sich ab. Eine kleine Umwälzpumpe fördert die entstandene Ammoniaklösung über den Wärmetauscher, wo sie die Wärme des aus dem Kocher fließenden Wassers aufnimmt, zurück in den Kocher, wo der Vorgang von neuem beginnt.

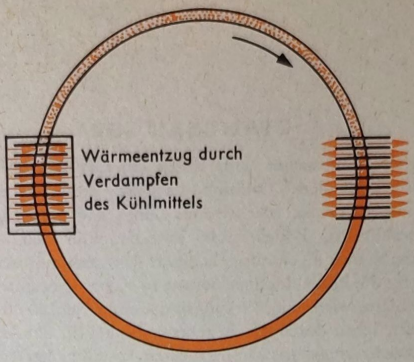


Abb. 1 Kreislauf des Kältemittels

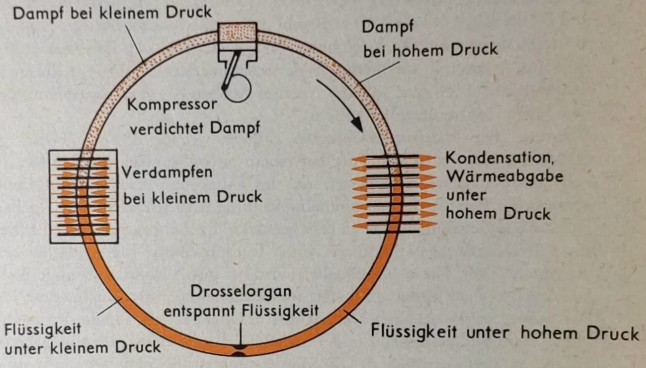


Abb. 2 Arbeitsschema des Kompressorkühlschrankes

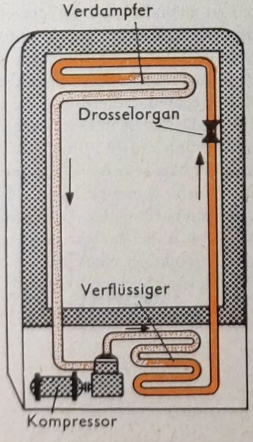


Abb. 3 Kompressorkühlschrank

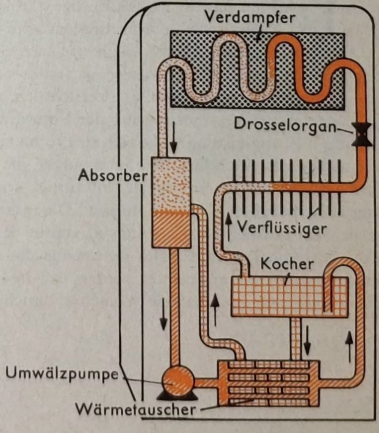


Abb. 4 Absorberkühlschrank

STAUBSAUGER

Bei einem modernen Staubsauger wird durch ein Gebläse Luft aus dem Staubsaugergehäuse herausgeschleudert. Dadurch entsteht, weil ja wieder Luft in den entstandenen Unterdruckraum nachströmt, eine Luftströmung, die Staub von Teppichen, Polstermöbeln, Böden usw. mitreißt. Für den Antrieb der Staubsaugergebläse benutzt man hochtourig laufende Universalmotoren, können doch bei gleicher Luftleistung die Flügeldurchmesser um so kleiner gewählt werden, je größer die Drehzahl eines Gebläses wird. Die Wirkungsweise eines Gebläses beruht darauf, daß ein Flügelrad den Luftteilchen durch schrägstehende Flügel (in der Abbildung 1 durch die schrägstehenden Striche angedeutet) je nach deren Anstellwinkel eine mehr oder weniger große Geschwindigkeitskomponente in Richtung der Drehachse erteilt. Zwischen Vorder- und Rückseite des Flügelrades entsteht daher eine Konzentrations- und damit eine Druckdifferenz, welche eine Luftströmung verursacht (Abb. 1). Die strömende Luft wird durch ein Filter geleitet, in welchem sich der Staub niederschlägt, ohne die strömende Luft nennenswert abzubremsen. Je nach Art und Aufbau des Staubsaugers unterscheidet man innen- und außenbeaufschlagte Filter.

Während bei innenbeaufschlagten Filtern (Abb. 3) das Filter gleichzeitig den Staubsammelraum bildet, fällt bei einem außenbeaufschlagten Filter (Abb. 2) der aus dem staubbeladenen Luftstrom an der Filteroberfläche abgeschiedene Staub in den Kessel, der hier den Staubsammelraum bildet. Aufgrund dieser Eigenarten ergibt sich, daß die Saugleistungskonstanz bei Geräten mit außenbeaufschlagten Filtern größer ist, da die Filteroberfläche wesentlich länger luftdurchlässig bleibt als bei einem innenbeaufschlagten Filter. Diese Gegebenheit wird bei guten Handstaubsaugern ausgenutzt, wo ja bei einem verhältnismäßig kleinen Staubsammelraum die Saugleistung möglichst lange in der vollen Stärke erhalten bleiben soll. Es wäre falsch, für die Beurteilung der Saugleistung eines Staubsaugers von der meist auf dem Typenschild angegebenen Leistungsaufnahme in Watt auszugehen. Die Saugleistung ist vielmehr von zwei anderen Werten abhängig. Es muß viel Luft strömen, um Sand und Staub mitreißen zu können. Dieser Luftstrom kann aber nur durch einen Unterdruck entstehen, den das Gebläse erzeugt. Der Unterdruck wird in mm Wassersäule, der Luftstrom in m^3/min oder l/s gemessen. Wenn man den Unterdruck in Abhängigkeit vom Luftstrom aufzeichnet, so erhält man eine Luftstrom-Druck-Kennlinie, die je nach Art des Gebläses entweder sehr flach (z. B. bei einem einstufigen Gebläse) oder etwas steiler verläuft (bei einem zweistufigen Gebläse). Aus diesen Kennlinien (Abb. 4) ist ersichtlich, daß bei größtem Unterdruck der Luftstrom 0 und bei größter Luftleistung der Unterdruck 0 ist. Damit ist in beiden Punkten gleichzeitig die Saugleistung 0, die sich als Produkt aus Unterdruck mal Luftmenge ergibt. Es ist daraus auch ersichtlich, daß Staubsauger, die entweder eine sehr hohe Luftleistung aufweisen oder einen extrem hohen Unterdruck erzeugen, nicht immer eine starke Saugleistung im Arbeitsbereich haben müssen. Die maximale Saugleistung eines Staubsaugers ergibt sich bei geraden Saugleistungskurven in der Mitte, d. h. bei halbem maximalem Unterdruck und halber maximaler Luftmenge. Bei der Konstruktion eines guten Staubsaugers muß daher darauf geachtet werden, daß die Düsen für die einzelnen Verwendungszwecke so ausgelegt sind, daß sie in einem möglichst günstigen Arbeitsbereich liegen.

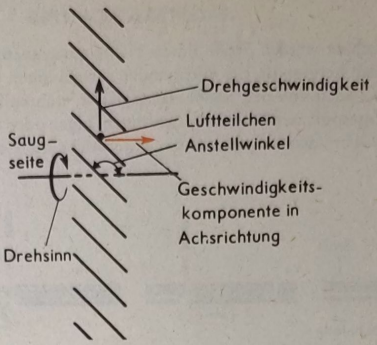


Abb. 1 Wirkungsweise des Flügelrades

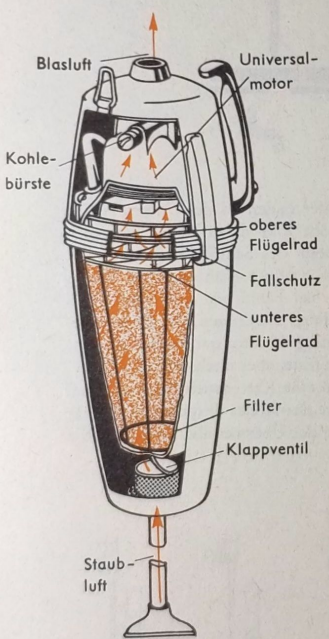


Abb. 3 Staubsauger (innenbeaufschlagt)

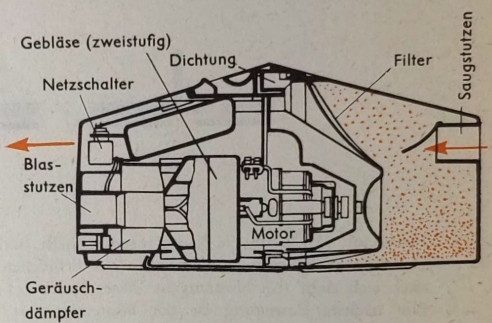


Abb. 2 Staubsauger (außenbeaufschlagter Filter) mit seinen Einzelteilen

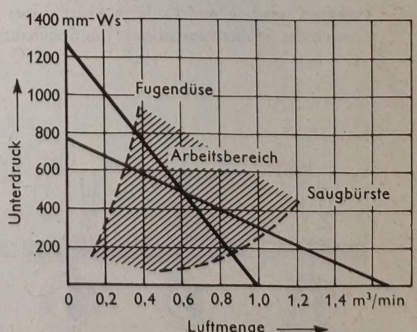
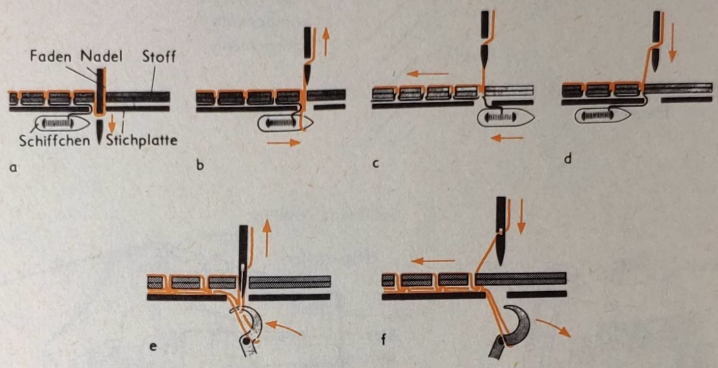


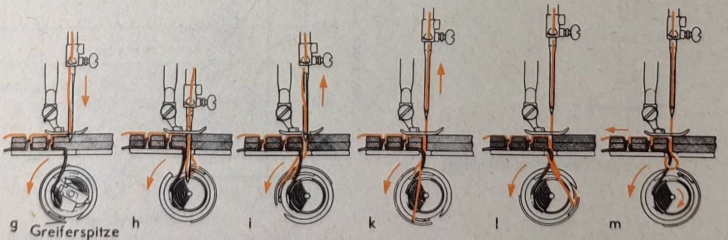
Abb. 4 Luftstrom-Druck-Kennlinien verschiedener Staubsauger

NÄHMASCHINE

In der Nähmaschine werden Stoffe durch Nähte zusammengefügt. Diese Nähte werden durch zwei Fäden hergestellt, die miteinander verschlungen werden. Bei diesem Vorgang wird der obere Faden von der Nadel transportiert, während der untere Faden von einer Vorrichtung abgespult wird, die man Schlingenfänger oder Schiffchen nennt. Die Nadel, durch die der Oberfaden eingezogen ist, durchsticht das Gewebe und nimmt dabei den

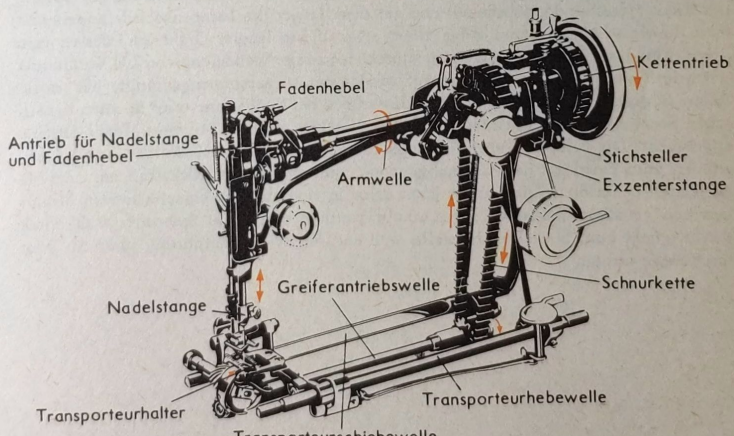


Faden mit (a). Wenn die Nadel zurückschnellt, bildet der Faden an der Unterseite des Gewebes eine Schlinge, durch die das Schiffchen stößt und dabei den Unterfaden nach sich zieht (b). Meistens ist dieser Faden im Innern des Schiffchens aufgespult. Die nächste Bewegung ist der Weitertransport des Stoffes; während der Dauer dieses Vorganges bleibt die Nadel stehen, während das Schiffchen auf seine Ausgangsstellung zurückkehrt. Dadurch wird die lose Schlinge zugezogen, die Fäden verketten sich in der Mitte des Gewebes (c). Nach Beendigung des Stofftransportes beginnt der Vorgang von neuem (d). Auf diese Art entsteht eine feste, aber unelastische Naht.
Zur Herstellung von elastischen Nähten verwendet man eine Kettenstich-Nähmaschine. Diese arbeitet nur mit einem Faden, der an der Unterseite des Stoffes durch einen Greifer verkettet wird (e und f). Eine Abart dieses Stiches ist der Überwendlichstich, der die Kanten des Stoffes umschlingt (Interlocknaht).



In modernen Haushaltsnähmaschinen werden zur Nahtherstellung sogenannte Greifer verwendet, in deren Innerm der Unterfaden aufgespult ist. Der Vorgang spielt sich dabei folgendermaßen ab: Die Nadel sticht in den Stoff, die Greiferspitze kommt der Nadel entgegen (g). Durch das Zurückziehen der Nadel hat sich eine Schlinge gebildet, in die sich die Greiferspitze hineinschiebt (h). Die Oberfadenschlinge wird vom Greifer geweitet, die vordere Seite der Schlinge wird in einer Aussparung der Unterkapsel festgehalten (i), während der Greifer die andere Seite der Oberfadenschlinge über die Spulenkapsel wegzieht (k). Die Oberfadenschlinge rutscht von der Greiferspitze ab, während der Fadenhebel (vgl. Abb. unten) den überflüssigen Faden wieder nach oben zieht (l). Während des Fadenabzuges wird die festgehaltene Seite der Schlinge freigegeben und die Schlinge zugezogen (m).

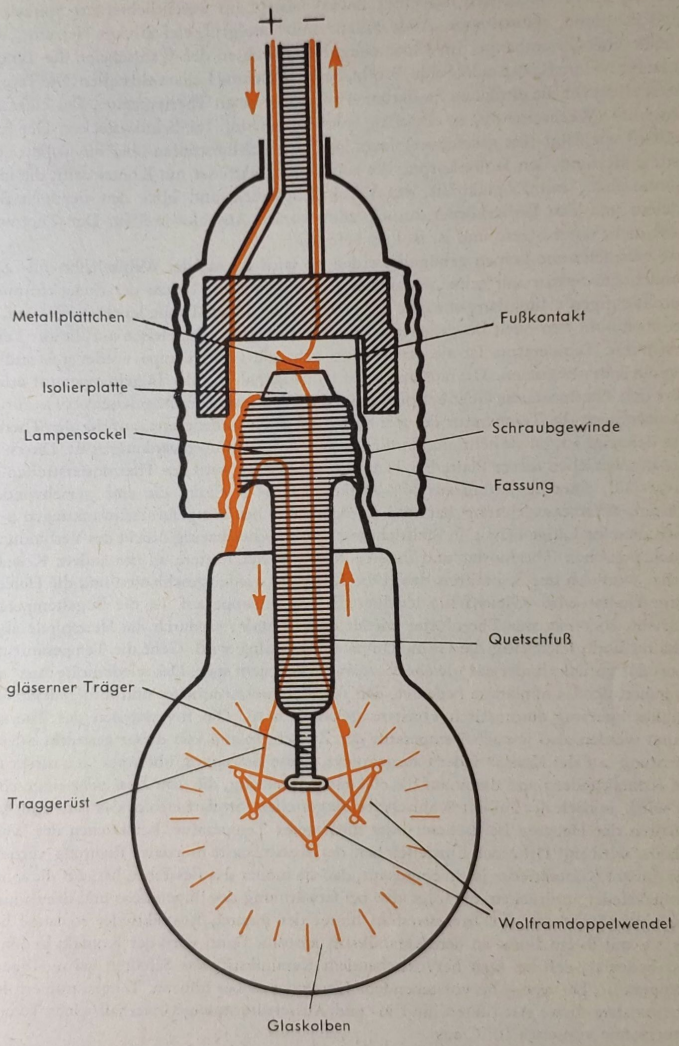
Die untenstehende Abb. zeigt den Antriebsteil einer Haushaltsnähmaschine. Sie wird meist von einem Elektromotor über einen Kettentrieb angetrieben. Die Drehbewegung wird auf die im Oberteil der Maschine eingebaute Armwelle und auf die im Kopf des Oberteiles angeordneten Kurbeltriebe für den Fadenhebel und die Nadelstange übertragen. Außerdem wird von der Armwelle durch eine Schnurkette die Greiferantriebswelle bewegt. Ein auf der Armwelle angebrachter Exzenter treibt über je eine Exzenterstange die unter der Grundplatte gelagerte Transporteurhebewelle und Transporteurschiebewelle mit dem Transporteurhalter an und steuert diese Einrichtung gleichzeitig. Zum Einstellen der Stichlänge ist im Ständer des Nähmaschinenoberteils ein Stichsteller eingebaut, der von außen durch eine Stichstellerscheibe eingestellt werden kann. Der Stich wird länger oder kürzer durch Änderung des Exzenterhubes und die damit verbundene veränderte Drehung der Transporteurschiebewelle.



Antriebsteil einer Nähmaschine

GLÜHLAMPE

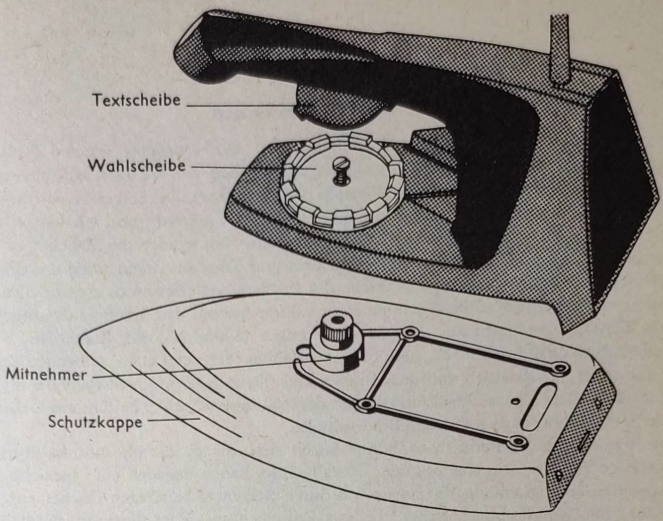
In den Glühlampen befindet sich ein elektrischer Leiter, der durch die beim Durchfließen eines elektrischen Stromes erzeugte Wärme auf Weißglut erhitzt wird. Der Leiter ist in der Regel in Drahtform auf einem gläsernen Träger angebracht. Seine Enden sind an stärkere Drähte angeschweißt, welche als Stromzuführung dienen. Um eine Oxydation, d. h. eine Verbrennung des Leiters an der Luft zu verhindern, wird der Träger samt Draht in einen Glaskolben eingeschmolzen. Die Stromzuführungsdrähte werden dabei durch einen Quetschfuß durch das Glas nach außen geführt. Der Glaskolben wird entweder evakuiert oder mit einem geeigneten Gas oder Gasgemisch (z. B. Stickstoff und Argon) gefüllt. Als Leiter verwendete man in den ersten Glühlampen Kohlefäden. Da man sie nur bis zur hellen Rotglut erhitzen konnte, ohne ihre Lebensdauer zu stark zu verkürzen, war die Lichtausbeute gering. Man ging deshalb dazu über, Metallfäden zu verwenden. Als Material bot sich das schwer schmelzbare Wolfram an, das sich bis auf 3000° C erhitzen läßt. Wolfram wird aus Erz über Wolframsulfat als Zwischenstufe in Gestalt eines schwarzen Pulvers gewonnen. Dieses Pulver wird bei etwa 1000° C unter einer chemisch neutralen Gasatmosphäre zu Stangen von etwa Bleistiftgröße zusammengesintert. Durch Hämmern wird das Material homogenisiert und zu Stangen von etwa $^1/_2$ m Länge und 2–3 mm Durchmesser gestreckt. Die weitere Bearbeitung geschieht durch Ziehen (s. S. 420). Als Ziehsteine dienen durchbohrte Diamanten, mit deren Hilfe man Wolframdrähte bis herab zu $^1/_{100}$ mm Durchmesser herstellen kann. Von der geringen Stärke eines solchen Drahtes bekommt man eine Vorstellung, wenn man sich klarmacht, daß 1 kg Wolfram einen $^1/_{100}$ mm starken Draht von 650 km Länge liefert. Diese dünnen Drähte werden zu Spiralen von etwa 0,5 mm Durchmesser doppelt spiralig gewickelt (Wolframdoppelwendel) und auf dem Träger des Lampensockels angebracht. Eine 15-Watt-Lampe nimmt dabei einen etwa 0,75 m langen Draht auf, dessen erste Wendelung rund 3000 Windungen hat; durch eine zweite Wendelung von 100 Windungen wird die Gesamtlänge des Drahtes auf rund 3 cm so zusammengedrängt, wie es der Raum erfordert. Der zugeschmolzene Glaskolben der Glühlampe wird in einen metallischen Schraubsockel eingekittet. Am Fuß des Sockels wird ein isoliertes Metallplättchen angebracht. Die beiden Stromzuführungsdrähte, die aus dem Glaskolben herausragen, werden zum einen mit dem Schraubgewinde, zum anderen am Sockelfuß mit dem Metallplättchen verlötet. Die Lampe kann dann in eine mit dem entsprechenden Muttergewinde versehene Fassung eingeschraubt werden, wobei ein federnder Fußkontakt den Kontakt zum Sockelfuß herstellt, während die zweite Zuführung über das Muttergewinde erfolgt.

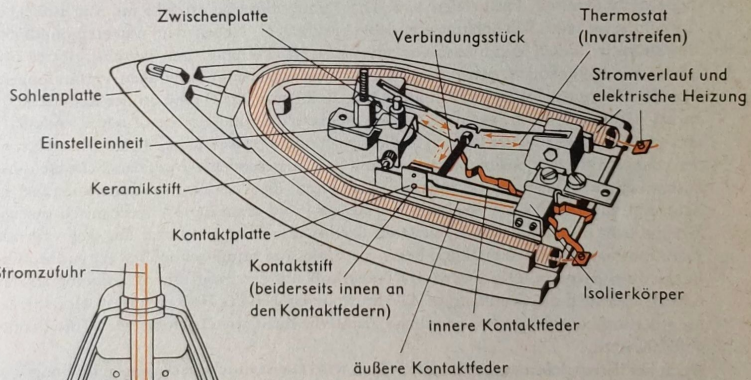

+
−
Metallplättchen
Fußkontakt
Isolierplatte
Lampensockel
Schraubgewinde
Fassung
Quetschfuß
gläserner Träger
Traggerüst
Wolframdoppelwendel
Glaskolben

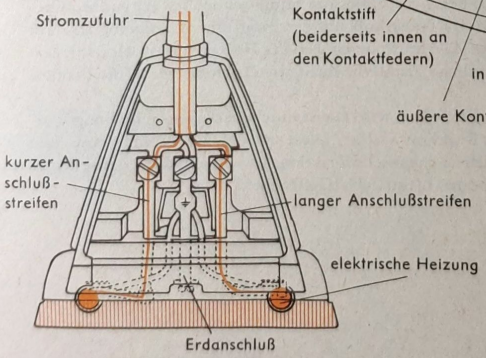
BÜGELEISEN

Das elektrische Bügeleisen moderner Bauart besteht im wesentlichen aus Sohlenplatte, Zwischenplatte, Schutzkappe, Abdeckplatte mit Handgriff, elektrischer Heizung, Wahlscheibe und Glimmlampe. Im allgemeinen lassen sich an der Wahlscheibe die Temperaturen für Nylon, Kunstseide, Seide, Wolle, Baumwolle und Leinen einstellen. Die Temperaturregelung für die einzelnen Stoffarten erfolgt über einen Thermostaten. Der elektrische Anschluß (Wechselstrom) ist dreiadrig mit Erdanschluß für Schukostecker. Der Strom verläuft wie folgt (rot gezeichnet): vom langen Anschlußstreifen über die isoliert eingebettete Heizung, den Isolierkörper, die äußere Kontaktfeder mit Kontaktstift, die innere Kontaktfeder mit Kontaktstift, das Verbindungsstück und über den flexiblen Bandstreifen und den Isolierkörper zurück zum kurzen Anschlußstreifen. Der Thermostat steht nicht unter Strom und ist isoliert befestigt.

Soll beispielsweise Leinen gebügelt werden, so wird der auf der Wahlscheibe mit Leinen bezeichnete Sektor mit seinem Markierungspunkt auf die Spitze der dreieckförmigen, durchsichtigen Glimmlampenkappe eingestellt. Die Glimmlampe leuchtet jetzt auf, der Strom nimmt den oben beschriebenen Weg und heizt das Bügeleisen auf die für Leinen bestimmte Temperatur. Ist sie erreicht, so geht die Glimmlampe wieder aus und das Bügeln kann beginnen. Die automatische Konstanthaltung der Bügeltemperatur erfolgt über den Thermostaten. Geht beispielsweise die Temperatur des Bügeleisens etwas zurück, so sinkt auch die Temperatur der frei beweglichen Zwischenplatte, auf der der Thermostat befestigt ist, da sie sehr empfindlich gegen Temperaturschwankungen ist. Durch das Zusammenziehen dieser Platte bei Temperaturrückgang wird der Thermostatstreifen aus Invarstahl, einer Legierung aus 36% Nickel und 64% Eisen, die eine verschwindend geringe Wärmeausdehnung hat und infolgedessen bei Temperaturschwankungen praktisch dieselbe Länge behält, in Pfeilrichtung bewegt. Gleichzeitig drückt das Verbindungsstück zwischen Thermostat und innerer Kontaktfeder letztere an die äußere Kontaktfeder, wodurch der Stromkreis durch die Kontakte wieder geschlossen und die Heizung eingeschaltet wird. Gleichzeitig leuchtet die Glimmlampe auf. Ist die Bügeltemperatur erreicht, so öffnet der Thermostat wieder den Kontakt, wodurch die Heizspirale abgeschaltet und gleichzeitig die Glimmlampe ausgeschaltet wird. Geht die Temperatur nun abermals zurück, findet der gleiche Vorgang von neuem statt. Das wiederholte Aus- und Angehen der Glimmlampe bedeutet, daß der Thermostat arbeitet und infolgedessen die Bügeltemperatur automatisch konstant gehalten wird. Die Invarstreifen des Thermostaten werden also je nach Temperatur der Zwischenplatte von dieser gestreckt oder in Richtung auf die Kontaktfedern ausgeknickt. Diese Bewegung überträgt sich direkt auf die Kontaktfedern und damit auf die elektrische Heizung, die dann aus- oder eingeschaltet wird. Je nach der auf der Wahlscheibe eingestellten Stoffart erfolgt das Ein- und Ausschalten der Heizung bei höherer oder niedrigerer Temperatur. Bei Drehen der Wahlscheibe wird mit Hilfe der Einstelleinheit der Keramikstift in axialer Richtung verstellt. Die äußere Kontaktfeder ist so eingebaut, daß sie immer das Bestreben hat, auf die innere Kontaktfeder zu drücken. Sie folgt also bei Erwärmung des Bügeleisens und der dadurch bedingten Streckung des Invarstreifens hinter der inneren Kontaktfeder so lange her, bis sie mit ihrem Ende an den Keramikstift anstößt. Dann wird der Kontakt geöffnet. Das bedeutet, daß bei weit hervorstehendem Keramikstift das Schalten bei niedrigerer Temperatur, bei wenig hervorstehendem Keramikstift bei höherer Temperatur erfolgt. Thermostate dieser Art führen die Ein- und Ausschaltvorgänge innerhalb einer Temperaturspanne von etwa 10 °C aus.


Textscheibe
Wahlscheibe
Mitnehmer
Schutzkappe


Zwischenplatte
Verbindungsstück
Thermostat
(Invarstreifen)
Stromverlauf und
elektrische Heizung
Sohlenplatte
Einstelleinheit
Keramikstift
Kontaktplatte
Kontaktstift
(beiderseits innen an
den Kontaktfedern)
Isolierkörper
innere Kontaktfeder
äußere Kontaktfeder


Stromzufuhr
kurzer An-
schluß-
streifen
langer Anschlußstreifen
elektrische Heizung
Erdanschluß

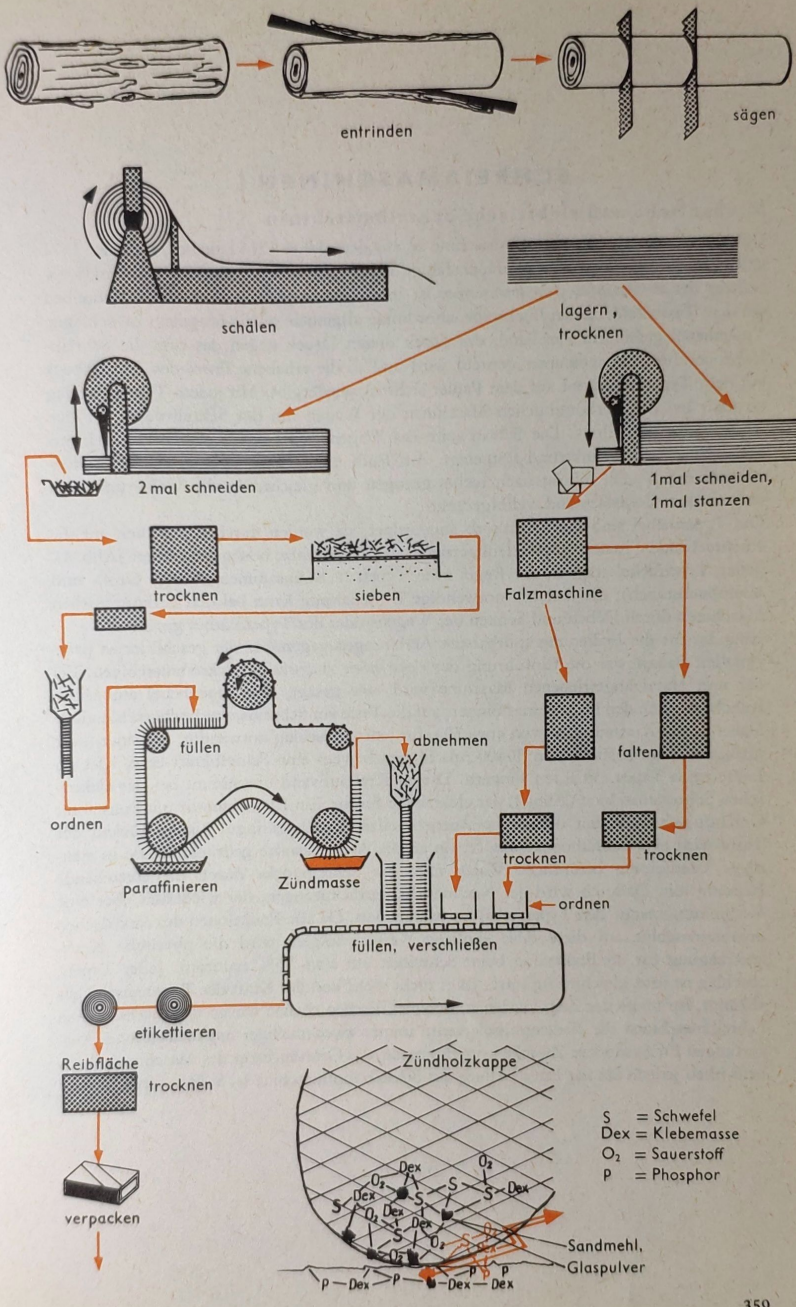
ZÜNDHOLZ

Für die Herstellung von Sicherheitszündhölzern wird zunächst weiches Holz (z. B. Pappel) entrindet, passend gesägt, geschält, in Stäbchen von wenigen Millimetern Dicke und einigen Zentimetern Länge geschnitten und getrocknet. Die Stäbchen werden in Wasserglas-, Ammonium- oder Natriumphosphatlösungen getränkt und wieder getrocknet. Diese Imprägnierung verhindert das Nachglimmen. Nun werden die Stäbchen in breiten Bändern stehend durch ein Paraffinbad geführt und dabei am Brenn-Ende mit einer dünnen Schicht Paraffin überzogen, welche das Entflammen erleichtert. Anschließend wird eine wenige Millimeter dicke Kuppe einer Zündmasse auf das Brenn-Ende aufgebracht. Die Zündmasse besteht aus dem Sauerstoffträger (Kaliumchlorat, Bleidioxid, Kaliumchromat, Mangandioxid u. a.), dem Flammenbildner (Schwefel u. a.), reibenden Zusätzen (Glaspulver), Farbstoffen und dem Bindemittel (Dextrin, Leim), das ebenfalls als Flammenträger dienen kann. Die Reibfläche an der Zündholzschachtel besteht aus Glaspulver, rotem Phosphor, Farbstoffen und Bindemitteln.

Die sogenannten Sicherheitszündhölzer lassen sich nur an der phosphorhaltigen Reibfläche entzünden. Die sogenannten Überallzünder haben dagegen eine spezielle Zündkuppenzusammensetzung, so daß sie sich durch Reiben an beliebigen Flächen entzünden lassen. Die Zündkuppe besteht dabei aus Kaliumchlorat, Phosphorsesquisulfid, Metalloxiden, Bindemittel, Farbstoffen u. a. Die Zündholzkuppe erreicht im Augenblick des Aufflammens eine Temperatur von 1400 bis 2000 °C. Neben den wasserempfindlichen Zündhölzern, deren Zündmasse aus anorganischen Verbindungen besteht, gibt es noch solche mit völlig anders zusammengesetzter Zündmasse aus organischen Verbindungen.

Der Zündvorgang (Sicherheitszündhölzer): Reibt man die Kuppe an der Reibfläche, die neben Glasmehl noch roten Phosphor, Klebemittel und andere Zusätze enthält, so entsteht zunächst an einer kleinen Stelle der Zündkuppe Reibungswärme. Diese setzt aus dem Sauerstoffträger Sauerstoff frei, der mit dem anwesenden Schwefel zu Schwefeldioxid zusammentritt. Dabei wird wiederum Wärme frei, die ausreicht, weiteren Sauerstoff mit Schwefel zur chemischen Reaktion zu bringen. Die ursprünglich mechanisch erzeugte Wärme wird durch den so eingeleiteten chemischen Prozeß in Form der freiwerdenden Reaktionswärme sehr schnell und heftig verstärkt und bringt schließlich die ganze Zündkuppe zum Brennen. Dabei wird das Trägerholz mit der Paraffinimprägnierung so stark erhitzt, daß auch dieses entflammt. Die im weiteren Teil des Holzstäbchens wirkende Imprägnierung bewirkt, daß das restliche Zündholz nicht weiterglimmt, wenn die Flamme gelöscht wird.

Auch bei den andersartigen Überallzündern wird zuerst durch mechanische Reibung Wärme erzeugt, die eine chemische Reaktion auslöst. Diese erzeugt wiederum Wärme und verstärkt heftig die einmal eingeleitete chemische Reaktion, bis schließlich die ganze Zündmasse entflammt, wobei Temperaturen bis zu 2000 °C entstehen.


entrinden
sägen
schälen
lagern,
trocknen
2 mal schneiden
1 mal schneiden,
1 mal stanzen
trocknen
sieben
Falzmaschine
füllen
abnehmen
falten
ordnen
paraffinieren
Zündmasse
trocknen
trocknen
ordnen
füllen, verschließen
etikettieren
Reibfläche
trocknen
verpacken
Zündholzkappe
S = Schwefel
Dex = Klebemasse
O2 = Sauerstoff
P = Phosphor
Sandmehl,
Glaspulver

SCHREIBMASCHINEN I

Mechanische und elektrische Schreibmaschinen

Der erste Entwurf einer Schreibmaschine ist aus dem Jahre 1714 bekannt, aber erst 1874 gelang es in den USA, eine gebrauchsfähige Maschine zu konstruieren. Das Funktionsprinzip der *mechanischen Schreibmaschinen* ist im allgemeinen folgendes: Beim Schreiben auf dem Tastenfeld, dessen Buchstabenanordnung allgemein gültig festgelegt ist, schlagen Typenhebel gegen ein Farbband, das durch diesen Druck gegen das (um die Schreibwalze geführte) Schreibpapier gepreßt wird und so die erhabene Form des Buchstabens auf dem Typenhebelkopf auf dem Papier sichtbar wiedergibt. Mit jedem Typenanschlag wandert bei den herkömmlichen Maschinen der Wagen mit der Schreibwalze um eine Typenbreite nach links. Die Schrittweite des Wagens wird durch ein Hemmwerk mit Schaltklinke und Klinkenrad festgelegt. Am Ende einer Zeile wird durch den Zeilenschalter der Wagen wieder nach rechts gezogen und gleichzeitig die Walze um einen eingestellten Zeilenabstand weitergedreht.

Die Typenhebel sind im Typenkorb angeordnet, sie werden durch den Druck auf die entsprechenden Tasten über Gelenkgetriebe zur Schreibwalze hochgeschleudert (Abb. 1). Jeder Typenhebel trägt in der Regel zwei Typen (z.B. zusammengehörige Groß- und Kleinbuchstaben); die dadurch notwendige Umschaltung kann bei den herkömmlichen Maschinen durch Heben und Senken des Wagens oder des Typenkorbes geschehen.

Eine der für die Bedienung spürbarsten Änderungen gegenüber der geschilderten prinzipiellen Bauart war die Einführung des *elektrischen Antriebs* bei Schreibmaschinen. Bei der von Hand angetriebenen Maschine wird, wie gesagt, der Typenhebel aus seiner Ruhelage durch den Druck eines Fingers auf die Taste zur Schreibwalze hochgeschleudert. Dabei ist ein Kraftaufwand von etwa 50 p für jeden Anschlag notwendig. Bei einer (sehr mäßigen) Tagesleistung von 30000 Anschlägen bewegt eine Schreibkraft etwa 1,5 t im Laufe eines Tages mit ihren Fingern. Diesen Kraftaufwand übernimmt bei der elektrischen Schreibmaschine (Abb. 2) der elektrische Strom. Ein Elektromotor mit konstanter Umlaufgeschwindigkeit dreht eine Antriebswalze. Durch geringes Niederdrücken der Taste wird eine Schreibnocke aus Nylon an die Antriebswalze gedrückt. Diese in ständiger Umdrehung befindliche Walze reißt die Schreibnocke durch die entstehende Reibung mit. Dadurch wird der Nockenhebel zurückgezogen, der wiederum über eine Verbindungsstange den Typenhebel hochschleudert. Da alle Funktionen der elektrischen Schreibmaschine auf diese oder ähnliche Weise erfolgen, wird die physische Kraftanstrengung für die Bedienung beim Schreiben um etwa 95% reduziert. Jeder Typenanschlag ist jetzt gleichmäßig stark, da er nicht mehr von der Kraft des Tastenanschlages abhängt. Im Laufe der Zeit wurden an den elektrischen ebenso wie an den mechanischen Schreibmaschinen die Bedienungselemente immer zweckmäßiger angeordnet und Ausrüstungen für besondere Zwecke vorgenommen, das Grundprinzip des Maschinenschreibens blieb jedoch bis zur Entwicklung der Schreibkopfmaschine (s. S. 362) unverändert.

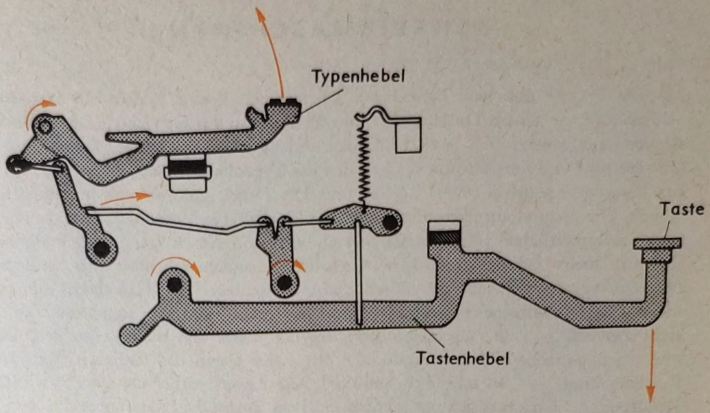


Abb. 1 Antrieb einer mechanischen Schreibmaschine

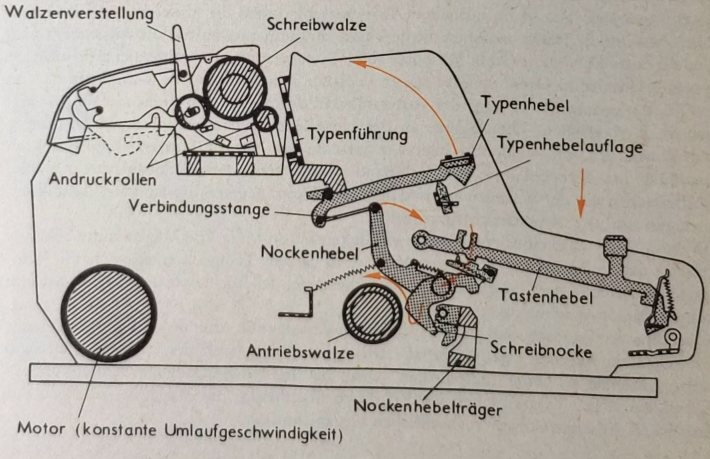


Abb. 2 Schnitt durch eine elektrische Schreibmaschine

SCHREIBMASCHINEN II

Schreibkopfsystem IBM 72

Anstelle der 44 üblichen Typenhebel arbeitet bei diesem System ein kugelförmiger Schreibkopf mit einem Durchmesser von 35 mm und 9 p Gewicht. Er trägt 88 Schriftzeichen und bewegt sich beim Schreiben entlang der Schreibzeile. Damit entfällt der schwere hin- und herstoßende Wagen, den die Typenhebelmaschine benötigt. Der Kopf aus Kunststoff wird bei 300° Celsius und 15 t Druck geformt und anschließend vernickelt. Die dadurch erreichte Festigkeit und Elastizität in Verbindung mit dem geringen Gewicht ermöglichen blitzschnelle Bewegungen und Anschläge. Der Schreibkopf läßt sich mit einem Handgriff auswechseln, sobald eine andere Schriftart oder Sonderzeichen benötigt werden. Schreibfehler durch Zusammenschlagen der Typenhebel gibt es nicht mehr. Die 88 Schriftzeichen sind in vier Bändern übereinander angeordnet. In Abb. 1 steht Zeichen „+" in Anschlagstellung vor der Walze und benötigt für den Anschlag nur einen einfachen Mechanismus, der den Kopf gegen das Papier schlägt. Um die Zeichen unter „+" zu schreiben, muß der Schreibkopf vorher um eine, zwei oder drei Bandbreiten nach oben gekippt werden. Soll ein Buchstabe links und rechts von dieser „+"-Reihe geschrieben werden, muß der Kopf zusätzlich um die senkrechte Achse gedreht werden. Zum Schreiben des „v" z. B. muß der Schreibkopf auf das dritte waagerechte Band gekippt und nach rechts bis zur vierten Reihe gedreht werden. Das Kippen und Drehen erfolgt durch zwei Stahlbandsysteme, die am Schlitten beginnen und enden, der den Schreibkopf zusammen mit der Farbbandkassette trägt. Der Kippmechanismus (Abb. 2) ermöglicht vier verschiedene Stellungen. Die Drehbewegung muß dagegen auf 22 senkrechte Schriftzeichenreihen eingestellt werden können (11 mit Kleinbuchstaben auf der Vorderseite, 11 mit Großbuchstaben auf der Rückseite des Schreibkopfes).

Für jedes Schriftzeichen muß also eine bestimmte Kombination aus Kipp- und Drehbewegungen erfolgen, d. h., mit jedem Tastenanschlag muß die Maschine aus vier Kippositionen und 22 Drehpositionen die benötigte Stellung auswählen. Die Auswahl erfolgt über ein Auswählsystem (Abb. 3): Unter jeder Taste sitzt ein Auswahlhebel mit Ansätzen an seiner Unterseite. Diese Ansätze zeigen bei jeder Taste eine andere Kombination. Von der Taste niedergedrückt wird der Auswahlhebel durch eine sich drehende Flügelwelle nach vorn geschoben. Die Ansätze an der Unterseite drücken dabei gegen bestimmte Auswählstangen, die wiederum über ein System von Auswahlklinken den benötigten Ausschlag der Schwenkarme der Stahlbandsysteme verursachen. Sobald das gewählte Schriftzeichen vor der Walze steht, wird der Schreibkopf gegen Kipp- und Drehbewegung verriegelt und der Typenanschlag ausgelöst.

Auf diese Weise wird eine Schreibgeschwindigkeit bis zu $15^1/_2$ Anschlägen in der Sekunde erreicht, das sind 930 Anschläge pro Minute. In diesem Tempo können auch die automatischen Abläufe der Unterstreichung, der Leertaste, der Rücktaste, der Zeilenschaltung und des Papiervorschubs arbeiten.

Bemerkenswert ist noch, daß zu schnell aufeinanderfolgende Anschläge, wie sie bei Handwechselgriffen möglich sind, nicht zu Störungen führen, weil der zu schnell erfolgte zweite Anschlag so lange „gespeichert" wird, bis der vorangegangene Schreibvorgang abgeschlossen ist. Taktschreiben wird dadurch überflüssig, die Maschine paßt sich der natürlichen Arbeitsweise des menschlichen Organismus an.

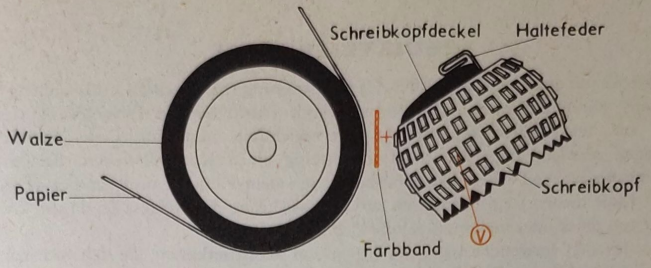


Abb.1 Schreibkopf und Walze - Seitenansicht

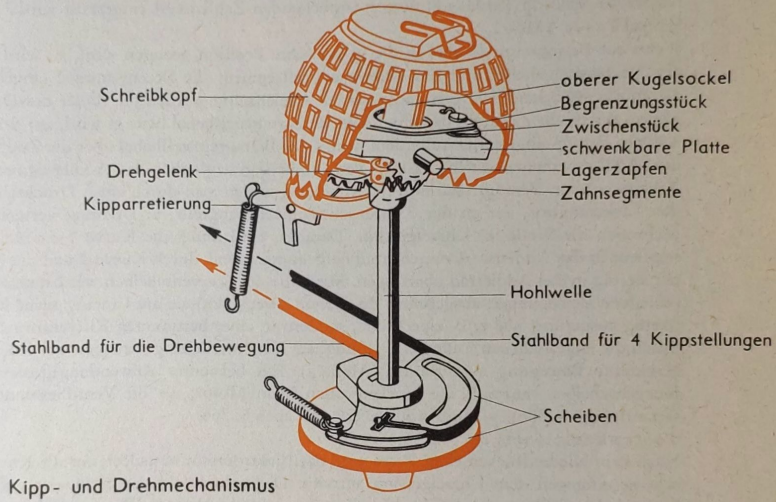


Abb.2 Kipp- und Drehmechanismus

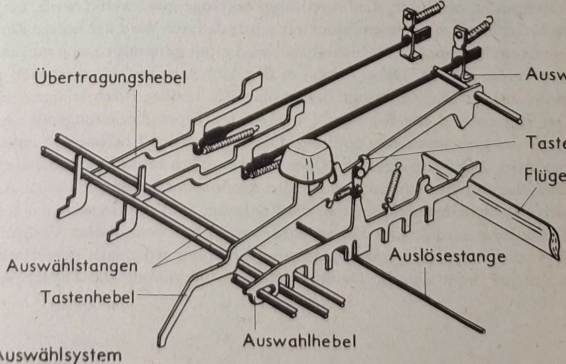


Abb.3 Das Auswählsystem

REGISTRIERKASSE

Registrierkassen dienen in erster Linie der Registrierung (gleichzeitige Aufzeichnung und Addition) von Einnahmen. Zu diesem Zweck haben sie ein Einstellwerk, dessen Werte auf ein Addierwerk, eine Anzeigevorrichtung und eine Druckvorrichtung übertragen werden. Letztere druckt gleichzeitig einen Kontrollstreifen, der in der Maschine bleibt, und einen Quittungsbeleg, der dem Kunden ausgehändigt wird. In zweiter Linie dienen Registrierkassen zur Aufbewahrung des Geldes. Zu diesem Zweck sind sie mit einer oder mehreren Schubladen ausgestattet.

Im wesentlichen verwendet man zwei Typen von Registrierkassen, die sich voneinander durch das Einstellwerk und damit durch den gesamten Mechanismus zum Addieren und Registrieren unterscheiden: 1. Hebelkassen, bei denen der Betrag durch Einstellen von Hebeln in die Maschine eingegeben wird; 2. Tastenkassen, bei denen der Betrag durch Niederdrücken von Tasten mit dem entsprechenden Zahlenwert eingestellt wird.

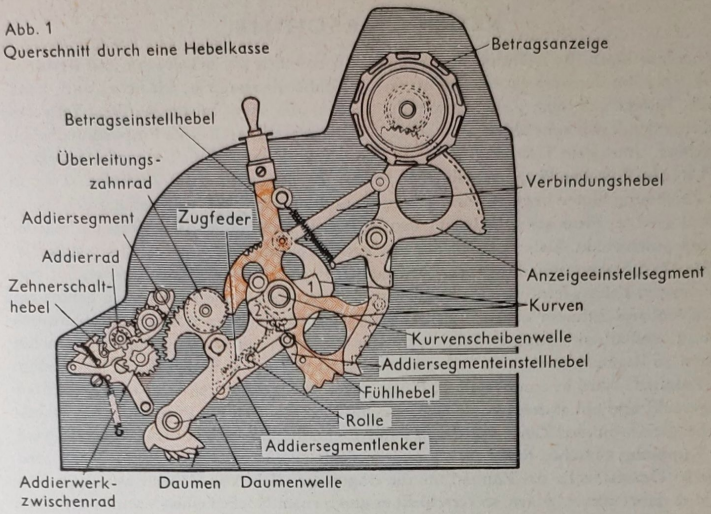
Hebelkasse (Abb. 1)

Wenn der Betragseinstellhebel in die gewünschte Position gezogen wird, so wird über den Verbindungshebel und das Anzeigeeinstellsegment die Betragsanzeige eingestellt, die an der Rückseite der Kasse ablesbar ist. Gleichzeitig werden die Räder des Druckwerkes durch ein Zahnrad, das durch den Betragseinstellhebel bewegt wird, auf den gewählten Betrag eingestellt. Außerdem bringt der Betragseinstellhebel über die Zugfeder, den Addiersegmenteinstellhebel und den Addiersegmentlenker das Addiersegment in Arbeitsstellung. Betätigt man nun die Maschine, indem man durch einen Druckschalter den Elektromotor, der an der Kurvenscheibenwelle angreift, in Drehung versetzt, so dreht sich die Welle im Uhrzeigersinn. Dadurch wird durch die Kurve 1 das Addiersegment in das Addierwerkzwischenrad eingekuppelt und durch Kurve 2 und die Rolle der Betrag in das Addierrad übertragen. Mit Hilfe der Kurvenscheiben werden also verschiedene Bewegungen ausgeführt. Zu diesem Zweck sind sie am Umfang nicht kreisförmig ausgeführt wie z. B. eine Welle, sondern in einer bestimmten Kurvenform, wodurch die angetriebenen Teile bei Drehung der Kurvenscheibe gezwungen werden, eine bestimmte Bewegung auszuführen (Abb. 1a). Ein bekanntes Anwendungsgebiet für Kurvenscheiben sind z. B. die Nockenwellen beim Motor, die die Ventilbewegungen steuern (vgl. S. 588). — Zum Addierwerk vgl. auch S. 366.

Tastenkasse (Abb. 2)

Nach dem Niederdrücken einer Taste wird der Elektromotor ausgelöst, der die Kurvenscheibe entgegen dem Uhrzeigersinn antreibt. Dadurch drückt der Stein, der auf der Welle drehbar gelagert ist, auf den Sichelhebel und drückt diesen in Uhrzeigerrichtung um seinen Drehpunkt, wodurch die Gegenzange so lange geschwenkt wird, bis sie auf den Tastenholm trifft und von diesem blockiert wird; dadureh wird der untere Drehpunkt des Sichelhebels ein Festpunkt. Der Sichelhebel wird somit gezwungen, sich nun entgegen dem Uhrzeigersinn zu drehen. Dabei nimmt er die Zählzange mit, bis diese sich auch an den Tastenholm anlegt. Die Zählzange bringt über den Lenker 1 das Addiersegment in Stellung. Der Bolzen und das Segment 1 drehen das Typenüberleitungsrad und damit die Typenräder des Druckwerks in Stellung. Der am Segment 1 befestigte Lenker 2 verstellt durch Segment 2 die Anzeigerolle. Über die Achse schwenkt das Addiersegment in das Addierzwischenrad ein, wodurch die beiden miteinander im Eingriff stehen. Anschließend öffnet sich das Sichelhebeldifferential, die Zählzange und die Gegenzange kehren in ihre Ausgangsstellung zurück. Der Betrag wird sowohl von dem oberen Verkäuferaddierrad als auch von dem unteren Spartenaddierrad übernommen. Nach dem Entkuppeln des Addiersegments dreht sich die Daumenwelle und übernimmt die Zehnerübertragungen (vgl. S. 366).

Abb. 1
Querschnitt durch eine Hebelkasse



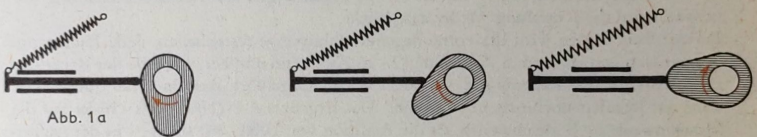
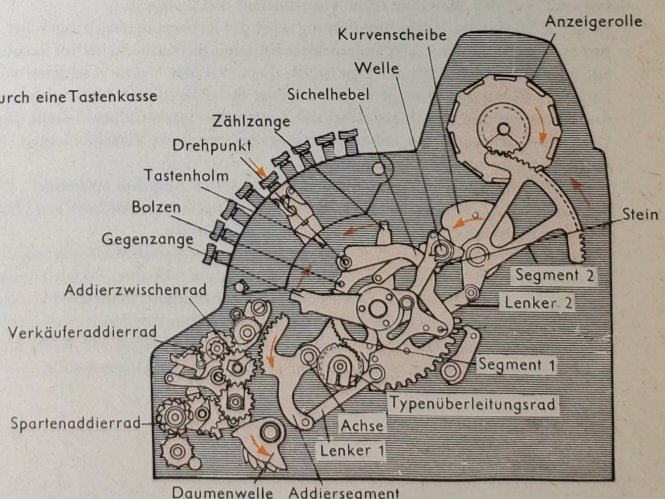


Abb. 1a

Abb. 2
Querschnitt durch eine Tastenkasse



RECHENMASCHINE

Rechenmaschinen für Addition und Subtraktion bestehen aus Schaltwerk und Resultatwerk. Das Resultatwerk ist ein Zählwerk mit Zehnerübertragung. Im Schaltwerk kann durch Tastendruck eine Zahl eingestellt werden, die zum Inhalt des Resultatwerks addiert oder davon subtrahiert wird. Abb. 1 zeigt das Schaltwerk einer Proportionalhebelmaschine. Unter dem Tastenfeld liegen 10 Zahnstangen, die an ihrer Unterseite mit einem Stift in die Nute des Proportionalhebels greifen. Bei Einstellung auf Addition ist die in der Zeichnung hinten liegende Zahnstange verriegelt. Durch eine Umdrehung der Handkurbel wird der Proportionalhebel um den Stift dieser Zahnstange nach rechts und wieder zurück geschwenkt. Dabei bewegt sich die vorderste Zahnstange um 9, die dahinterliegende um 8 Stellen usw. Über den Zahnstangen liegen so viele Vierkantachsen mit verschiebbaren Zahnrädern, wie das Resultatwerk Stellen hat. Zu je zwei Tasten gehört ein verschiebbares Zahnrad auf der Vierkantachse; es wird durch einen Schiebemechanismus bewegt, weshalb die einzelnen Zahnräder nicht unmittelbar unter den ihnen zugeordneten Tasten zu liegen brauchen. In Ruhestellung greift nur in die festgehaltene Zahnstange ein Zahnrad. Wird in einer Stelle z. B. die Ziffer 3 eingetastet, so wird dieses Zahnrad ausgerückt und ein anderes greift in die Zahnstange, die sich bei Betätigung der Handkurbel gerade um drei Zähne verschiebt (Abb. 2). Zu Beginn der Vorwärtsbewegung wird die Kupplung zwischen Resultatwerk und Vierkantachsen eingeschwenkt. Dadurch wird in jeder Dezimalstelle das Zählrad um die eingetastete Zahl von Zähnen weitergedreht. Geht es dabei über 9 hinaus, so verschiebt es durch einen Nocken einen Vormerkschieber für die Zehnerübertragung (s. u.). Bevor die Zahnstangen ihre Bewegungsrichtung umkehren, wird die Kupplung wieder ausgerückt.

Bei der Subtraktion wird die vorne liegende Zahnstange festgehalten. Jede Zahnstange bewegt sich nun statt um n Zähne um (9 – n) Zähne hin und her. Anstelle der Rechnung a – b wird also die Rechnung a + (999...999 – b) ausgeführt. Am Ende der Subtraktion wird das Resultat nochmals um 1 erhöht. Das Ergebnis a + (1 000...000 – b) ist auf der Maschine mit a – b gleichwertig, da die Addition von 1 000...000 sich erst in der nächsthöheren, auf der Maschine nicht vorhandenen Stelle auswirkt.

In der 2. Hälfte der Kurbelumdrehung wird der Zehnerübertrag ausgeführt. Dabei schieben auf einer Achse versetzt angeordnete Exzenter die Zehnerhebel im Resultatwerk nacheinander, beginnend mit der Einerstelle, hoch. Ist der Vormerkschieber verschoben, so kann der Zehnerhebel nicht mehr zwischen den Zahnrädern hindurchgleiten, er weicht nach links aus und verschiebt dabei das Zahnrad der nächsthöheren Stelle um einen Zahn. Die beim Auftreten eines Zehnerübertrages notwendigen Verschiebungen sind in Abb. 4 als gestrichelte rote Pfeile eingetragen.

Multiplikation und Division werden als fortgesetzte Addition ausgeführt. Dazu dient ein besonderes Umdrehungszählwerk. Bei einer Multiplikation wird der erste Faktor im Umdrehungszählwerk eingestellt, der zweite wird eingetastet.

Die ausgeführten Additionen werden vom Umdrehungszählwerk abgezogen. Verschiebt man das Resultatwerk gegenüber dem Schaltwerk um n Spalten, so wird mit einer Kurbeldrehung schon das 10^n-fache der eingetasteten Zahl addiert. In diesem Falle ist die entsprechende Stelle des Umdrehungszählwerks um 1 zu vermindern. Vollautomatische Maschinen übernehmen die notwendigen Verschiebungen und beenden die Rechnung, wenn das Umdrehungszählwerk auf Null steht. Die Division wird analog ausgeführt.

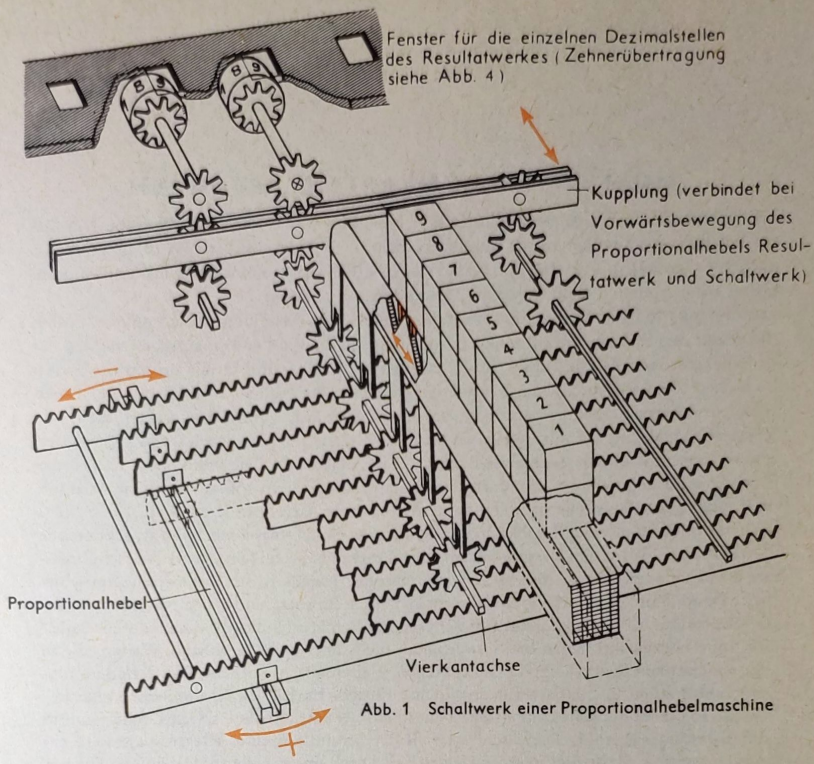


Abb. 1 Schaltwerk einer Proportionalhebelmaschine

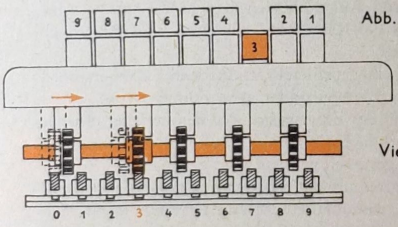


Abb. 2 Stellung bei Eintastung „3"

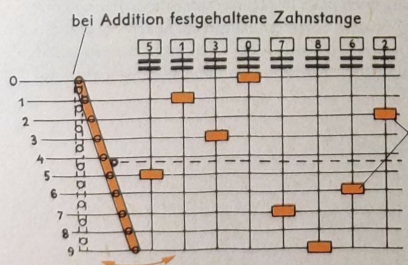


Abb. 3 Bewegung des Proportionalhebels und der Zahnstangen (nicht eingreifende Zahnräder weggelassen)

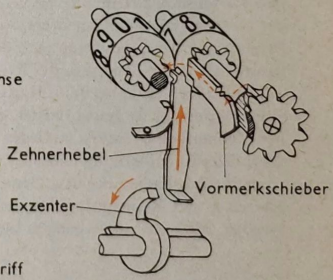


Abb. 4 Zehnerübertragung im Resultatwerk

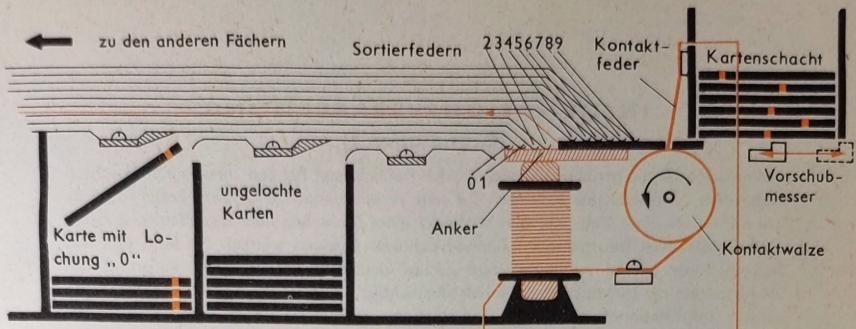
HOLLERITH-LOCHKARTENVERFAHREN

Lochkarten (Hollerith-Karten) können wie Lochstreifen zur Ein- und Ausgabe von Daten bei der maschinellen Informationsverarbeitung benutzt werden. Es ist möglich, sie nach ihrem Inhalt zu sortieren und Karten nach beliebigen Gesichtspunkten auszusondern. Dabei können über 100000 Karten pro Stunde sortiert werden.

Eine Lochkarte ist in Spalten unterteilt, in deren Zeilen die Ziffern 0 bis 9 stehen. Soll in die ersten drei Spalten einer Lochkarte zum Beispiel die Zahl 403 eingetragen werden, so ist in der ersten Spalte die Zeile 4, in der zweiten die Zeile 0 und in der dritten die Zeile 3 zu lochen. Die gebräuchlichen Lochkarten enthalten 80 Spalten, so daß auf einer Karte mehrere Zahlenangaben gelocht werden können. Durch Lochung zusätzlicher, nicht mit Ziffern belegter Zeilen kann angegeben werden, ob das gelochte Zeichen statt als Ziffer nach einem Verschlüsselungsschema als Buchstabe aufzufassen ist. Die linke obere Ecke jeder Lochkarte ist angeschrägt, womit in einem Stapel Lochkarten sofort erkennbar wird, ob sich eine Karte versteckt hat oder mit der Rückseite nach oben liegt. Abb. 1 u. Abb. 2 zeigen als Beispiel einer Lochkartenmaschine eine Sortiermaschine. Der zu sortierende Kartenstapel wird in den Kartenschacht gelegt, in dem hin- und hergehende Vorschubmesser jeweils die unterste Karte erfassen und unter die Transportrolle der Kartenbahn schieben. Dabei läuft die Karte so zwischen einer Kontaktwalze und einer Abtastfeder hindurch, daß die Abtastfeder innerhalb der eingestellten Spalten über die Zeilen 9 bis 0 gleitet. Im Ruhezustand liegen die Sortierfedern dicht über der Kartenbahn. Karten, die in der abgetasteten Spalte keine Lochung tragen, gleiten unter sämtlichen Sortierfedern hindurch und fallen in das Fach für ungelochte Karten. Enthält die Spalte jedoch eine Lochung, so gleitet die Karte nur so lange unterhalb der Sortierfedern, bis die Lochung unter die Abtastfeder gelangt. Dann schließt sich der Stromkreis eines Elektromagneten, ein Anker, auf dem die Sortierfedern aufliegen, wird nach unten gezogen. Diejenigen Sortierfedern, deren Anfang die Kartenkante in diesem Augenblick noch nicht überschritten hat, sinken dadurch unter die Kartenebene, und die Karte läuft, zwischen zwei Federn geführt, in das der Lochung entsprechende Fach.

Ein Kartenstapel kann auch nach der Größe einer mehrstelligen gelochten Zahl angeordnet werden. Dazu sind mehrere Sortiergänge hintereinander auszuführen (Abb. 3). Man beginnt mit der Sortierung nach der Ziffer in der Einerspalte. Vor dem zweiten Sortiergang müssen die Karten in der Reihenfolge ihrer Endziffern (Endziffer 0 zuunterst, darauf Endziffer 1 usw. bis 9) im Kartenschacht gestapelt werden. Wird jetzt nach der Zehnerziffer sortiert, so ist gewährleistet, daß die Karten mit der niedrigsten Endziffer im jeweiligen Zehnerfach zuunterst zu liegen kommen, darauf fallen dann die Karten in der Reihenfolge ihrer Endziffern. Im nächsten Sortiergang wird nach der Hunderterziffer sortiert, dann nach der Tausenderziffer usw. Beim Stapeln vor dem Sortieren ist nur zu beachten, daß die Karten in der Reihenfolge der vorher sortierten Ziffern in den Kartenschacht eingelegt werden. Mit vier Sortiergängen liegen damit 10000 Karten in der richtigen Reihenfolge.

Abb. 1



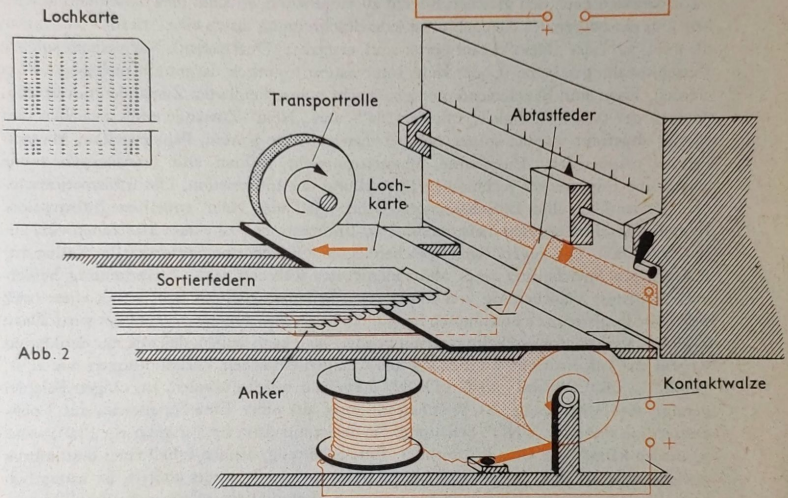


Abb. 2

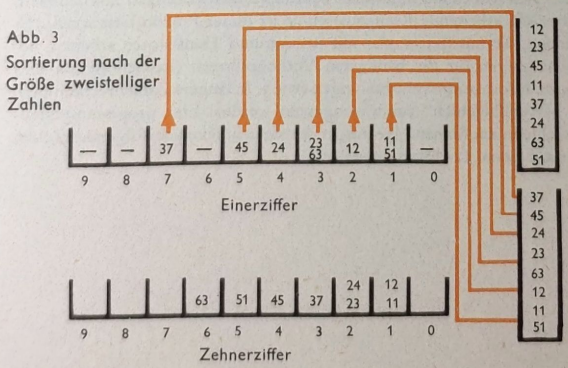


Abb. 3
Sortierung nach der Größe zweistelliger Zahlen

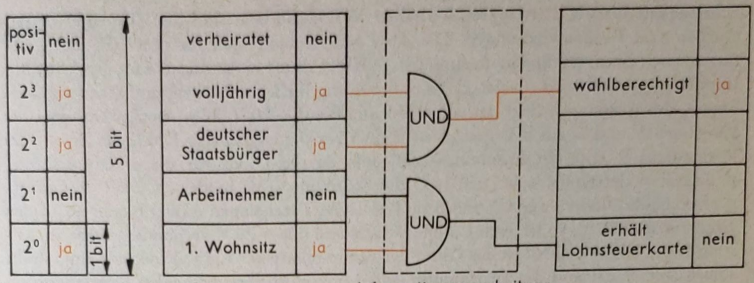
1. Gang (Einerspalte): Karten liegen im Kartenschacht wahllos

Stapelung zum 2. Gang (Zehnerspalte): Karten liegen im Kartenschacht in Reihenfolge der Endziffern

INFORMATIONSVERARBEITUNG I
(Grundlagen 1)

Information ist die mathematisch-technische Bezeichnung für den Inhalt einer Beschreibung oder Nachricht. Sie kann sich auf sehr verschiedenartige Objekte beziehen, z. B. auf die Größe einer Zahl, auf den Wohnsitz eines Menschen oder irgendeinen anderen Sachverhalt. Aus Informationen können Schlüsse gezogen werden. So folgt aus den Informationen „A ist volljährig" und „A ist deutscher Staatsbürger" aufgrund des Wahlgesetzes die Information „A ist wahlberechtigt". Dieses Aussondern der interessierenden Informationen nennt man Informations- oder Datenverarbeitung. Sind viele Informationen nach den gleichen Regeln zu verarbeiten, so kann dies maschinell geschehen. Für ein begrenztes Sachgebiet ist jede Beschreibung durch eine Anzahl von Fragen, die mit „Ja" oder „Nein" beantwortet sind, ersetzbar (Dualsystem). Nach einem solchen Verschlüsselungsschema (Code) kann Information technisch dargestellt und gespeichert werden. Dazu sind Bauelemente mit zwei leicht unterscheidbaren Zuständen notwendig. Je nach der Geschwindigkeit, mit der „Ja"- und „Nein"-Zustände eingeschrieben und wieder abgefragt werden sollen, benutzt man gelochte Karten, Papierstreifen, Magnetbänder, magnetisierte Eisenkerne, Magnettrommeln, Röhren und Transistoren sowie elektrische Impulse zur technischen Darstellung der Information. Die Informationseinheit 1 *bit* ist die in einer Entscheidung zwischen „Ja" und „Nein" enthaltene Information. In einer Maschine werden meist mehrere *bit*-Informationen zu einem Maschinenwort zusammengefaßt. Die zugehörigen Speicherelemente bilden eine Speicherzelle. Zellen zur kurzzeitigen Speicherung eines Maschinenwortes während seiner Verarbeitung heißen auch Register. Verarbeitung von Information bedeutet, daß aus dem Inhalt eines oder mehrerer Register nach bestimmten Regeln ein neues Maschinenwort gebildet wird. Dazu sind sog. Verknüpfungsschaltungen notwendig. Man kann zeigen, daß alle nur denkbaren Regeln zur Informationsverarbeitung aus wenigen einfachen Verknüpfungen wie z. B. „UND", „ODER" und „NEGATION" aufgebaut werden können. Im obigen Beispiel genügt zur Feststellung der Wahlberechtigung aus einer Einwohnerkartei auf Lochkarten eine einfache „UND"-Schaltung. Sie liefert nur dann am Ausgang ein „Ja", wenn an beiden Eingängen ein „Ja" vorliegt. Eine Schaltung, die den Inhalt einer bestimmten Speicherzelle als Zahl im Dualsystem zum Inhalt eines Registers addiert, ist wesentlich komplizierter, sie läßt sich jedoch aus einfachen Verknüpfungsschaltungen kombinieren. Für eine rein mechanisch arbeitende Rechenmaschine ist dieses Prinzip unrationell. Es wird nur für Maschinen, die mit Relais oder mit Röhren und Transistoren arbeiten, benutzt. Man baut Schaltungen für die häufigsten Verknüpfungen (Rechenoperationen) fertig ein. Komplizierte Informationsverarbeitungen (wie z. B. längere Zahlenrechnungen) können aus diesen „Grundbefehlen" zusammengesetzt werden. Eine programmgesteuerte Anlage führt Befehle in der Reihenfolge aus, in der sie in aufeinanderfolgenden Zellen ihres Speichers oder auf einem Lochstreifen stehen.

Zerlegung verschiedenartiger Informationen in elementare Aussagen:

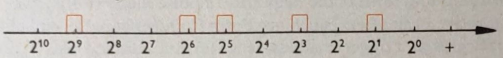


Darstellung der Zahl —13 im Dualsystem

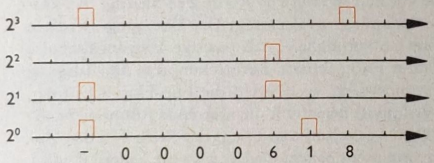
Eintrag in einer Einwohnerkartei

Informationsverarbeitung

Darstellung der Zahl —618 durch eine Impulsfolge



Darstellung der Zahl —618 durch vier parallel laufende Impulsfolgen. Das Zeichen „+" ist mit „12", das Zeichen „–" mit „11" verschlüsselt.



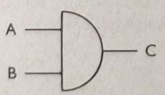
Elementare logische Verknüpfungen und dafür übliche Symbole:

A	B	C
nein	nein	nein
ja	nein	nein
nein	ja	nein
ja	ja	ja

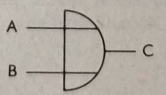
A	B	C
nein	nein	nein
ja	nein	ja
nein	ja	ja
ja	ja	ja

A	C
nein	ja
ja	nein

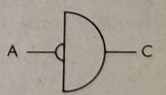
„UND"



„ODER"



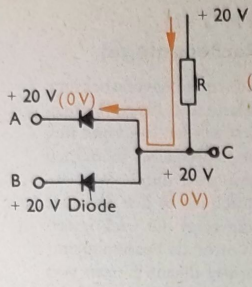
„NEGATION"



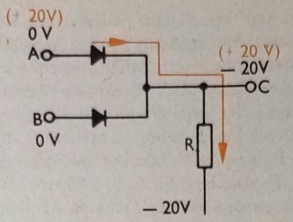
INFORMATIONSVERARBEITUNG II
(Grundlagen 2)

Schaltungen für die elementaren logischen Verknüpfungen sind die Elemente für den Aufbau von Rechenschaltungen. Die Abb. zeigt Schaltungen für den Fall, daß „JA" durch einen positiven Spannungsimpuls, „NEIN" durch einen negativen oder fehlenden Impuls dargestellt wird. In der „UND"-Schaltung fließt im Ruhezustand (schwarz) kein Strom, der Ausgang C liegt deshalb wie A und B auf + 20 V. Wird wenigstens einer der Eingänge A und B auf 0 V gelegt, so fließt über die zugehörige Diode ein Strom, im Widerstand R tritt ein Spannungsabfall auf; da die Diode für diese Stromrichtung praktisch widerstandslos ist, erhält C die Spannung 0 V. In der „ODER"-Schaltung sperren beide Dioden, wenn A und B auf 0 V liegen. Erscheint an A oder B oder an beiden Eingängen + 20 V, so ist auch C ohne Widerstand mit + 20 V verbunden. In der Schaltung für „NEGATION" ist das Gitter der Röhre relativ zur Kathode negativ eingestellt. Die Röhre sperrt und die Taktimpulse laufen ungestört über die beiden Kondensatoren an der Anode. Tritt an A ein positiver Impuls auf, so leitet die Röhre, der gerade durchlaufende Taktimpuls wird unterdrückt oder doch stark geschwächt. Die Ausgangsimpulse der Verknüpfungsschaltungen haben oft nicht die für eine weitere Verarbeitung notwendige Form. Zum Beispiel liefert die „ODER"-Schaltung für „NEIN" —20 V statt 0 V, die Negationsschaltung unterdrückt die negierten Impulse nicht völlig. Sogenannte Trigger stellen aus positiven Impulsen beliebiger Form Rechteckimpulse einheitlicher Höhe her. In der gezeichneten Triggerschaltung leitet im Ruhezustand (schwarz) Röhre 2; Röhre 1 sperrt, da ihr Gitter relativ zur Kathode negativ ist; ihre hohe Anodenspannung gibt über einen Spannungsteiler dem Gitter der Röhre 2 positive Spannung. Erscheint nun am Eingang ein positiver Impuls, so beginnt beim Überschreiten einer bestimmten Gitterspannung Röhre 1 zu leiten. Ihre Anodenspannung sinkt dadurch, und über den Spannungsteiler wird auch die Gitterspannung von Röhre 2 so niedrig, daß jetzt diese Röhre sperrt. Zugleich steigt die Spannung am Ausgang. Der Übergang zwischen beiden Zuständen der Schaltung erfolgt so sprunghaft, daß positive Eingangsimpulse ausreichender Höhe unabhängig von ihrer Form scharfe Rechteckimpulse am Ausgang liefern. Gestaltet man die Schaltung symmetrisch, so entsteht die Flip-Flop-Schaltung. Ein an beide Gitter gegebener negativer Impuls beeinflußt die sperrende Röhre nicht. Er wirkt so, als sei er nur auf das andere Gitter gegeben, und bringt das System in den Zustand, in dem beide Röhren ihre Rollen vertauscht haben. Ordnet man die Ziffern 0 und 1 des Dualsystems den beiden Zuständen zu, so lassen sich Zähler aufbauen. Der beim Übergang von 1 nach 0 auftretende Ausgangsimpuls wird als Zweierübertragung an die Flip-Flop-Schaltung für die nächsthöhere Dualstelle gegeben.

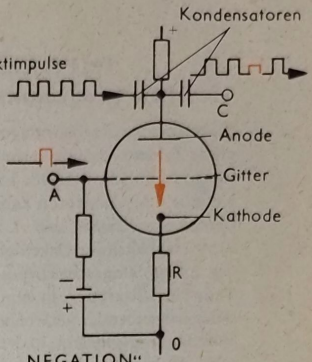
Eine weitere Möglichkeit zur Speicherung von 1 bit Information bieten ringförmige Magnetkerne aus Ferriteisen. Sie ändern erst beim Überschreiten einer bestimmten äußeren Feldstärke ihre Magnetisierungsrichtung und gehen dabei sofort in die magnetische Sättigung über. Sie dienen zum Aufbau von Speichern, in denen jede Zelle praktisch ohne Zugriffszeit gelesen und beschrieben werden kann. In der abgebildeten Ferritkernmatrix ändern nur diejenigen Kerne ihre Magnetisierungsrichtung, durch die zwei stromführende Drähte führen. Dadurch kann jeder Kern einzeln beeinflußt werden. Beim Lesen wird nacheinander in alle Kerne der betreffenden Zelle „NEIN" eingeschrieben. Die Kerne in „JA"-Stellung induzieren durch ihre Magnetisierungsänderung im Lesedraht einen Strom. Ihr alter Zustand muß anschließend wiederhergestellt werden.



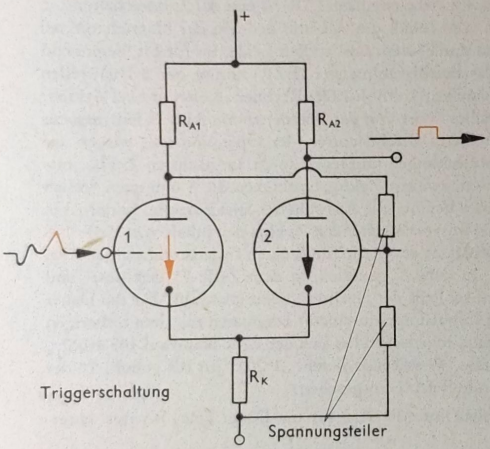
„UND"-Schaltung



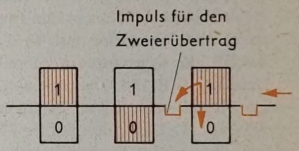
„ODER"-Schaltung



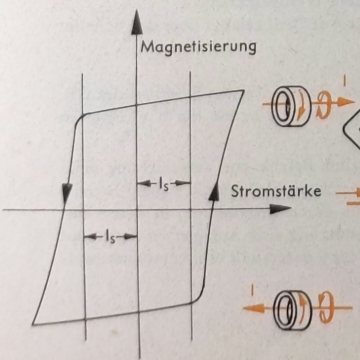
„NEGATION"



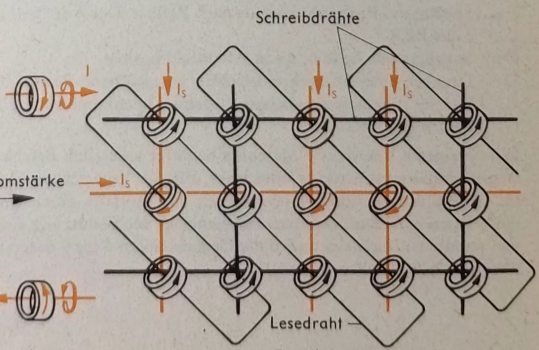
Triggerschaltung



Zählregister aus Flip-Flop-Schaltungen



Magnetisierungskurve eines Ferritkerns



Ferritkernmatrix

INFORMATIONSVERARBEITUNG III

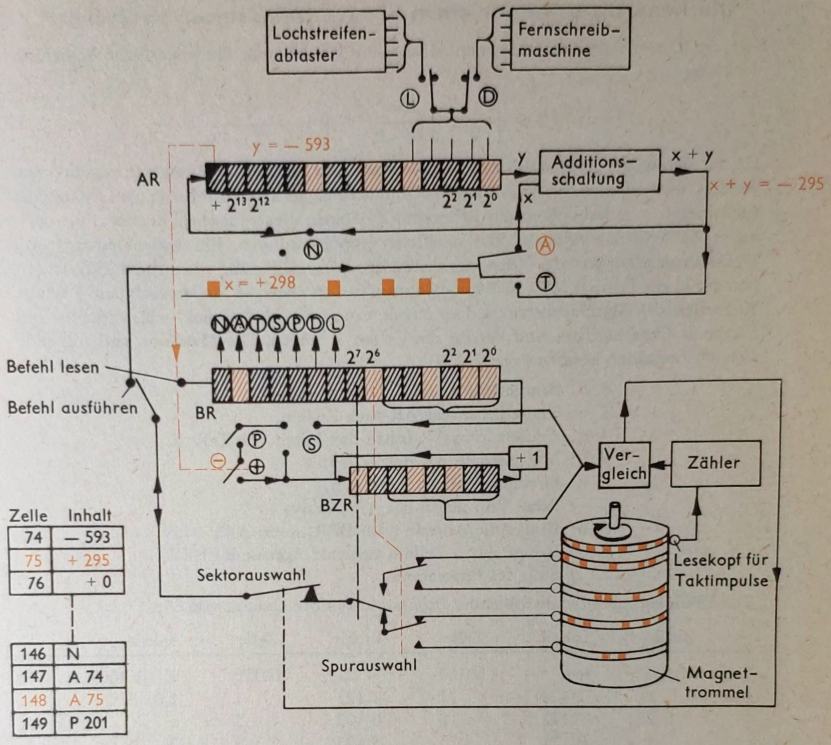
(Die programmgesteuerte elektronische Rechenanlage)

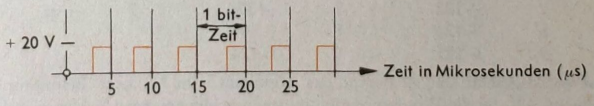
Elektronische Rechenanlagen sind universelle Anlagen zur Informationsverarbeitung, große Zahlenrechnungen sind nur eine besonders häufige Anwendung. Der Name Rechenanlage ist üblich, weil jede Information durch Zahlen verschlüsselt werden kann und ihre Verarbeitung damit zum Zahlenrechnen wird. Wesentliche Eigenschaften eines modernen Elektronenrechners sind 1. schneller Ablauf aller Rechenoperationen durch Verwendung trägheitsloser elektronischer Bauelemente, 2. Steuerung durch ein in den Speicher der Anlage eingeschriebenes Programm. — Die Schemazeichnung zeigt die wichtigsten Teile eines Rechners, in dem die einzelnen bit (s. S. 370) eines Wortes als Spannungsimpulse nacheinander verarbeitet werden (Serienmaschine). Als Register dienen Ketten von Verzögerungsgliedern, in denen ein Impuls um den Zeitabstand zweier Impulse verzögert wird. Vom Ende der Kette läuft die Impulsfolge wieder zurück in den Eingang. Wenn der letzte Impuls eines Wortes gerade eingelaufen ist, kann jedes bit am entsprechenden Glied der Kette abgefragt werden. Im Arbeitsregister (AR) ist eine Additionsschaltung in den Kreislauf eingefügt. Sie wird vom Inhalt des AR und der von der Magnettrommel kommenden Impulsfolge synchron durchlaufen und addiert beide, bit für bit, beginnend mit der niedrigsten Dualstelle. Das Befehlszählregister (BZR) nimmt nur 8 Dualstellen auf, sein Inhalt wird bei jedem Umlauf um 1 erhöht. Der Rechner arbeitet in zwei Zyklen: Im ersten bestimmt das BZR, welches Wort von der Magnettrommel ins Befehlsregister (BR) gelangt. Einige Dualstellen dieses Befehlswortes, der Operationsteil, wirken auf elektronische Schalter in den Impulsleitungen und legen so die im nächsten Zyklus auszuführende Operation fest. In diesem zweiten Zyklus bestimmen die 8 untersten Stellen des BR, der sogenannte Adreßteil des Befehls, die Auswahl der Speicherzelle. In der Abb. steht im BZR 148. Dadurch wurde im vorhergehenden Zyklus der Inhalt von Zelle 148 ins BR gebracht. Dieser Befehl enthält an der Stelle für A einen Impuls und schließt den Schalter A. Der Adreßteil ist 75. In dem Augenblick, in dem Zelle 75 den Lese- und Schreibkopf der Trommel erreicht, schließt der Schalter „Sektorauswahl" für die Dauer eines Wortes und die gespeicherte Impulsfolge durchläuft zusammen mit dem bisherigen Inhalt des AR die Additionsschaltung. Inzwischen hat sich der BZR-Stand auf 149 erhöht, im nächsten Zyklus wird der in Zelle 149 stehende Befehl „P 201" ins BR geholt. In der Schemazeichnung sind noch folgende Befehle vorgesehen:

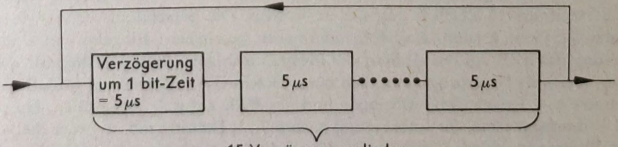
N: Löschen des AR. Der Kreislauf im AR wird für die Dauer eines Wortes unterbrochen.
T n: Die im AR umlaufende Impulsfolge wird in Zelle n eingeschrieben.
S n: Sprung des Programmablaufs nach Zelle n. Der Adreßteil gelangt über den Schalter S ins BZR.
P n: Sprung nach Zelle n, wenn AR-Inhalt positiv.
D: Drucken eines Fernschreibzeichens entsprechend den niedrigsten 5 Stellen des AR.
L: Die im Lochstreifenabtaster liegende Lochkombination liefert die 5 niedrigsten Stellen des AR.

Eine praktisch brauchbare Maschine benötigt zusätzlich Befehle zur Verschiebung eines Registerinhalts nach rechts oder links, für die Vorzeichenumkehr usw. Eigene Befehle für Multiplikation und Division lassen sich notfalls durch Programme, in denen nur Additionen auftreten, ersetzen. Bequemer in der Benutzung sind Anlagen, in denen auf vier parallelen Impulsleitungen die Dezimalziffern 6 bis 9 dargestellt und verarbeitet werden (Serien-Parallelmaschinen).

Aufbau einer programmgesteuerten Rechenanlage (schematisch)







Register zur Speicherung einer Impulsfolge der Länge 15 bit

INFORMATIONSVERARBEITUNG IV

(Rechenprogramm für einen programmgesteuerten Rechner)

Für die Berechnung der Exponentialfunktion $y = e^x$ gilt die unendliche Reihenentwicklung

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{1 \cdot 2} + \frac{x^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \cdots + \frac{x^k}{1 \cdot 2 \cdots k} + \cdots$$

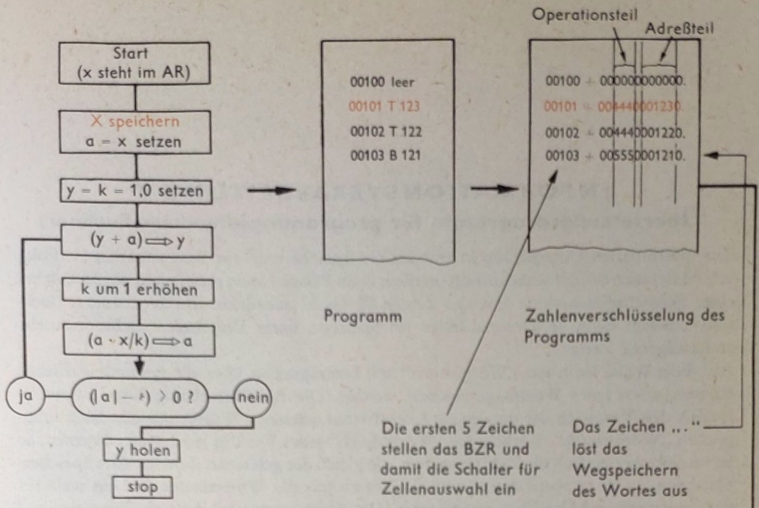
Da der Betrag der Reihenglieder immer kleiner wird, kann die Summation abgebrochen werden, wenn das zuletzt berecnnete Glied kleiner ist als eine Zahl ε, die die Genauigkeit vorschreibt. Wir betrachten ein Programm für einen elektronischen Rechner mit dezimaler Zahlendarstellung auf vier parallelen Impulsleitungen. Ein Maschinenwort soll 12 Dezimalstellen und das Vorzeichen enthalten. Dezimalbrüche wie z.B. 0,00347 schreiben wir in der Form $0{,}347 \cdot 10^{-2}$ und benutzen für die ersten 10 Stellen nach dem Komma 10 Stellen des Maschinenwortes. Der Zehnerexponent (im Beispiel — 2), vermehrt um 50, heißt Charakteristik und besetzt die letzten 2 Stellen. Die Maschine soll folgende Befehle ausführen können (vgl. S. 374):

B n: Bringe Inhalt von Zelle n ins AR.
T n: Trage Inhalt des AR nach Zelle n.
+ n: Addiere zum AR-Inhalt den Inhalt von Zelle n.
× n: Multipliziere AR mit Zelle n.
: n: Dividiere AR durch Zelle n.
V : Setze Vorzeichen des AR positiv.
P n: Bringe die Adresse n ins BZR, wenn AR positiv.
R n: Bringe die in Zelle n stehende Adresse ins BZR.
Z : Stop des Programms.

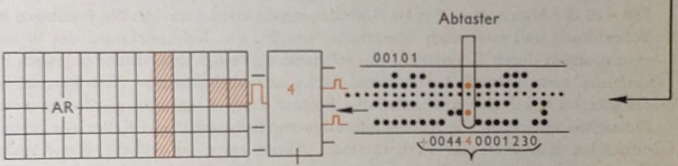
Das Flußdiagramm liefert folgendes Programm zur Berechnung von e^x:

Zelle	Inhalt	Zelle	Inhalt	Zelle	Inhalt
00100	leer	00110	+121	00120	Z (R 100)
1	T 123	1	T 125	1	1,0
2	T 122	2	B 122	2	a
3	B 121	3	×123	3	X
4	T 124	4	: 125	4	Y
5	T 125	5	T 122	5	K
6	B 124	6	V	6	$0{,}00001 = \varepsilon$
7	+122	7	— 126	7	leer
8	T 124	8	P 106		
9	B 125	9	B 124		

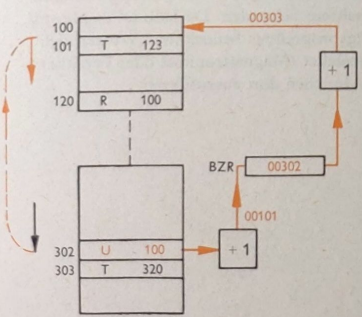
Hier ist vorausgesetzt, daß zu Beginn das Argument x im AR steht. Beim Stop steht das Ergebnis im AR. Dieses Programm muß in der maschineneigenen Zahlenverschlüsselung (vgl. Abb.) auf einen Lochstreifen geschrieben werden. Die ersten 5 Ziffern legen beim Einlesen des Lochstreifens die Schalter für die Auswahl einer Speicherzelle fest, in die dann die weiteren 13 Zeichen gespeichert werden. Die Berechnung von e^x für einen einzelnen Wert von x kann dann folgendermaßen geschehen: Eingabe von x ins AR, Einstellung des BZR auf 00101, Start des Programmablaufs. Praktisch sinnvoll wird das Programm erst als Unterprogramm. Ein neuer Befehl U n soll, wenn er in Zelle x steht, die Adresse x + 1 nach Zelle n bringen und das BZR auf n + 1 einstellen. Durch den Befehl R n erfolgt dann der Rücksprung nach x + 1. Damit kann an jeder Stelle eines großen Programms durch U 100 die Berechnung von e^x wie ein eigener Befehl aufgerufen werden.



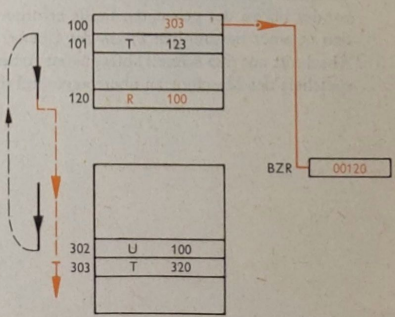
Flußdiagramm zur Berechnung von e^x



AR: 5 Zeichen sind gelesen, das 6. Zeichen wird gerade abgetastet und verschlüsselt.



Wirkung des Befehls U 100



Wirkung des Befehls R 100

Unterprogrammsprung

INFORMATIONSVERARBEITUNG V
(Übersetzungsprogramm für programmgesteuerten Rechner)

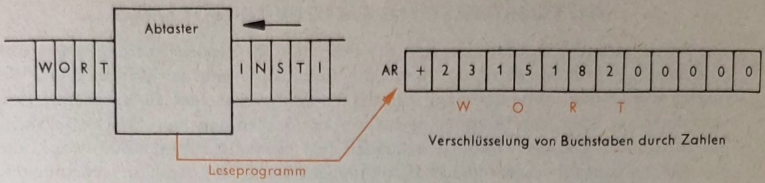
Zur maschinellen Übersetzung in eine andere Sprache muß ein Text zunächst als Folge von Maschinenworten verschlüsselt werden. Zum Beispiel kann man jedem der 32 Zeichen einer Fernschreibmaschine eine der Zahlen 01 bis 32 zuordnen. Ein Wort mit n Buchstaben belegt dann 2n Dezimalstellen im Speicher, unter Umständen mehrere aufeinanderfolgende Zellen.

Auf diese Weise kann ein „Wörterbuch" mit Eintragungen über die grammatikalischen Eigenschaften jedes Wortes gespeichert werden. Die Rohübersetzung eines Satzes erfordert den Vergleich der von einem Lochstreifen gelesenen Wörter mit den Eintragungen im „Wörterbuch". Enthält das „Wörterbuch" jedes Wort in jeder seiner Formen, so ist im Speicher einfach die Zahl zu suchen, die gleich der gelesenen Zahl ist. Aus Speicherplatzgründen ist es vorteilhafter, nur ein Verzeichnis der Wortstämme und ein weiteres für Endungen und Vorsilben zu speichern. Der Wortstamm wird dann als diejenige Zahl gesucht, die mit der gelesenen Zahl in möglichst vielen Stellen übereinstimmt.

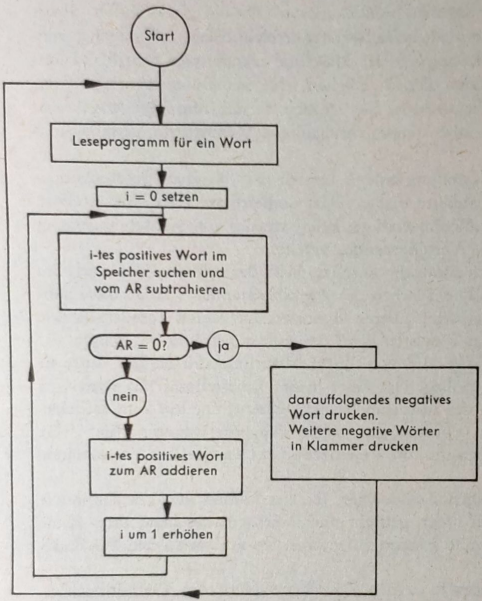
Die von der Maschine gedruckte Rohübersetzung erspart nur das Nachschlagen in einem Wörterbuch und muß noch überarbeitet werden. Die Kennzeichnung der Wörterbucheintragungen durch Kennziffern für Substantive, Verben usw. macht es jedoch möglich, auch den syntaktischen Aufbau eines Satzes zu berücksichtigen. Zum Beispiel kann ein Schachtelsatz wie eine mathematische Formel durch Klammern gegliedert werden. Im Deutschen entspricht die Aufeinanderfolge von Substantiv und Reflexivpronomen einer öffnenden Klammer, das Verb in seiner Aktivform einer schließenden Klammer. Im Englischen müssen diese Klammern aufgelöst werden. Das kann dadurch geschehen, daß jedesmal, wenn nacheinander die Kennziffern für Substantiv und Reflexivpronomen auftreten, ein neuer Abschnitt für die Speicherung der Übersetzung begonnen wird. Beim Auftreten des Verbs wird das Programm wieder auf Speicherung in den vorher benutzten Speicherabschnitt umgestellt.

Übersetzungsprogramme benötigen sehr viel Speicherplatz für „Wörterbücher". Man verwendet deshalb Magnetbänder als Zubringerspeicher. Der Vorschub eines Magnetbandes bis zu der gesuchten Stelle erfordert mehrere Sekunden. Deshalb ist es günstig, den in einer bestimmten Phase des Übersetzungsprogramms benötigten „Wörterbuch"-Abschnitt auf den schnell abfragbaren Arbeitsspeicher (Magnettrommel oder Ferritkernspeicher) der Maschine zu übertragen und das Absuchen dort auszuführen.

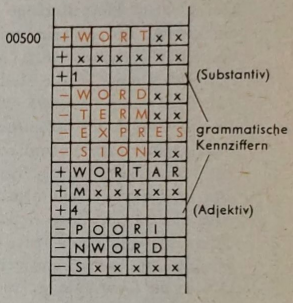
Zu übersetzender Text:
DER EINTRAG, DER MIT DEM GELESENEN WORT ÜBEREINSTIMMT, WIRD GESUCHT.



Verschlüsselung von Buchstaben durch Zahlen

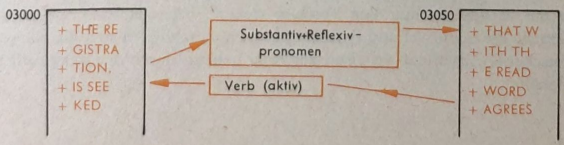


Flußdiagramm für die maschinelle Herstellung einer Rohübersetzung



Ausschnitt aus dem in der Maschine gespeicherten Wörterbuch

Rohübersetzung des Textes ins Englische:
THE REGISTRATION, THAT WITH THE READ WORD (TERM, EXPRESSION) AGREES, IS SEEKED (SEARCHED).



Berücksichtigung des Satzbaus durch Wechsel der Speicherabschnitte beim Auftreten bestimmter grammatischer Kennziffern.

AUTOMATISCHE BRIEFVERTEILUNG

Das Sortieren und Einordnen der von der Post zu befördernden Briefe erfordert einen erheblichen Personalaufwand, der durch die Automatisierung der Briefverteilung verringert werden soll. Voraussetzung für das Funktionieren einer automatischen Briefverteileranlage ist es, den Bestimmungsort für den Mechanismus von Maschinen erkennbar zu machen. Dazu wird vom Postkunden eine vierstellige Postleitzahl dem Namen des dieser Nummer zugeordneten Bestimmungsortes in der Anschrift vorangestellt. Das Endziel der Automatisierung, das maschinelle „Lesen" der einzelnen Ziffern direkt aus dem Schriftbild heraus, ist noch nicht betriebssicher erreicht. Man muß daher gegenwärtig noch die einzelnen Ziffern in ein von der Maschine erkennbares Schriftbild umsetzen (codieren). Als Codeelemente dienen Zeichen, die mit fluoreszierender oder magnetisierbarer Farbe aufgebracht werden. Sie werden in der Maschine abgelesen; die daraus resultierenden Stromimpulse steuern mechanische Weichen im Verteilsystem der Verteilmaschine.

Die kleinste Einheit einer Briefverteilungsanlage besteht aus je einer Beschickungseinrichtung für codierte und nichtcodierte Briefe, sechs Codierplätzen mit Vorverteilern und einer Verteilmaschine (Abb. 1). Bereits codierte Briefe werden automatisch abgetastet und unmittelbar in die Kanäle des Verteilerbandes geleitet.

Am *Codierplatz* (Abb. 2) wird nach Maßgabe der Anschrift der erforderliche Code im Drucker auf dem Brief aufgeprägt. Die Taschen des Zwischenstaplers werden dazu zum Vereinzelner gedreht und von dort vom Codierer abgerufen. Die leeren Taschen drehen zur Füllstellung zurück. Nach dem Eintasten des Code laufen folgende Vorgänge ab: Der im Drucker befindliche Brief (I) wird von einem Mitnehmerstift an der Kette in eine Tasche des Vorverteilers geschoben. Der Brief in der Lesestellung (II) wird von einem Stern in den Förderbereich des Mitnehmerstiftes gedreht, der ihn zum Drucker bringt. Die Tasche am vertikalen Förderbogen öffnet sich, ein weiterer Brief (III) fällt in die Lesestellung. Brief IV gelangt vom Vereinzelner zur Tasche; der Vereinzelner saugt den nächsten Brief an.

Die Taschen des Vorverteilers haben Zielspeicher, die das Öffnen der Taschenböden steuern. Die Taschen werden nach unten gedreht und lassen entsprechend ihrer Zieleinstellung die Briefe in eine der zehn Rinnen fallen, von wo aus sie zu den Behältern gelangen.

Mit den Behältern gelangen die Briefe zu den Zwischenstaplern der Verteilmaschine (Abb. 3). In dieser rotieren ein Taschenkranz und gegenläufig ein Behälterkranz (Sammeln der verteilten Post). Jeder Tasche ist ein einstellbares Zielmerkmal, jedem Behälter ein fester Schlüssel aus magnetisch erregbaren Schutzgaskontakten zugeteilt. Die von den Zwischenstaplern oder von der Beschickungseinrichtung abgerufenen Briefe gelangen einzeln zur Gleichlaufeinrichtung; sie passieren dann den Codeabtaster und werden in die Taschen der Verteilmaschine befördert. Ein Codeaufdruck aus Magnetfarbe wird durch Magnetköpfe, ein Aufdruck aus fluoreszierender Farbe durch einen Photomultiplier (s. S. 148) abgetastet. Das Ergebnis wird einem elektronischen Zuordner zugeleitet, der die Magnetisierung der Taschen steuert. Stimmen nun während der Drehung der Kränze die Schlüssel und Behälter überein, so schließen sich die Schutzgaskontakte, der Taschenboden öffnet sich, und der Brief gelangt durch den entsprechenden Kanal in den Behälter.

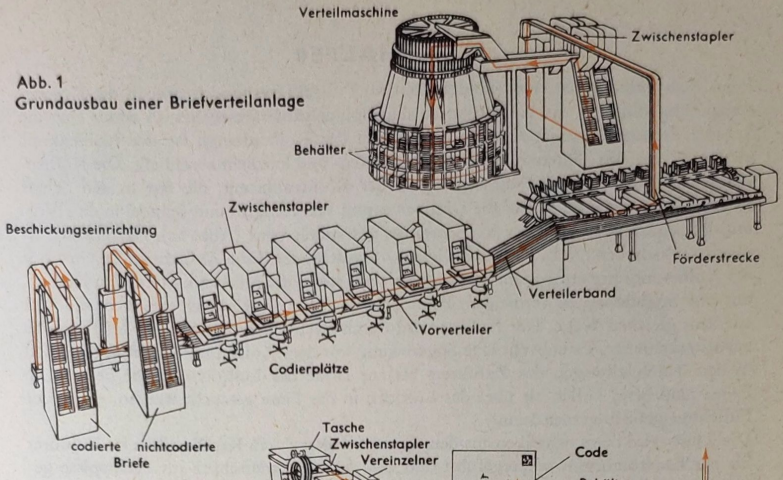


Abb. 1
Grundausbau einer Briefverteilanlage

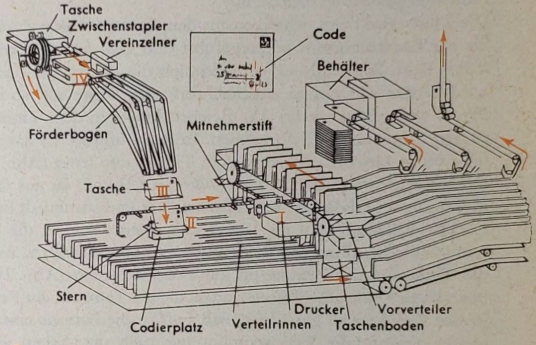


Abb. 2
Arbeitsablauf am Codierplatz

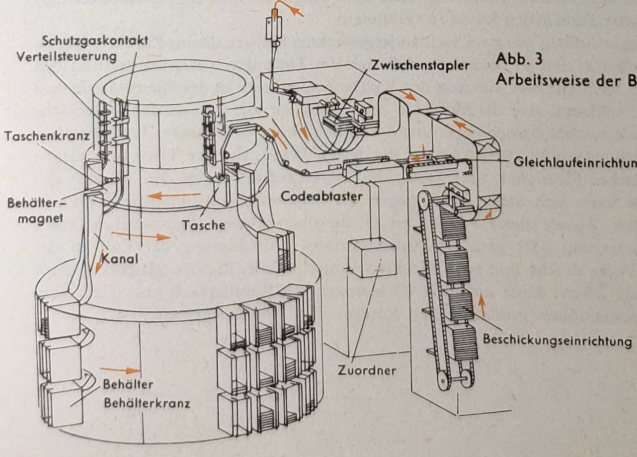


Abb. 3
Arbeitsweise der Briefverteilmaschine

FÜLLHALTER

Beim *Kolbenfüllhalter* ist eine Spindel mit dem Füllgriff verbunden und in die Kolbenstange eingeführt. In die Kolbenstange sind Spindelgänge gearbeitet, in denen sich die Spindel drehend bewegt. Am vorderen Ende der Kolbenstange ist der Kolbenkopf aufgesetzt, der den Tintenraum nach hinten tinten- und luftdicht abschließt. Die Kolbenstange wird durch einen Führungssteg in der Kolbenführung, die fest in den Schaft eingepreßt ist, geleitet, so daß die Drehbewegung von Füllgriff und Spindel in eine Vor- und Rückwärtsbewegung der Kolbenstange gewandelt wird (Abb. 1a). Der Kolben ist durch Linksdrehen (Abb. 1b) des Füllgriffs vorgeschraubt. Eine Abflachung im Gewinde der Kolbenführung ermöglicht den Eintritt von Luft in die Mechanik hinter den Kolben, um eine Sogbildung zu vermeiden. Beim Zurückführen des Kolbens entweicht die Luft auf dem gleichen Wege. Der Kolben wird durch Rechtsdrehen (Abb. 1c) des Füllgriffs zurückgeschraubt. Es entsteht eine Sogwirkung vor dem Kolben im Tintenbehälter und in den Tintenleitwegen des Zuführers bis zur Höhe des Luftlochs in der Feder. Die Feder muß beim Füllen bis über das Luftloch in die Tinte getaucht werden, damit der Füllhalter gefüllt werden kann.

Die Tinte wird beim Schreiben aus dem Tintenbehälter durch Kapillarrillen im Zuführer bis zur Federunterseite weitergeführt und von dort im Federschlitz zur Federspitze geleitet. Beim Schreibdruck spreizen sich die elastischen Federschenkel, der Federschlitz wird breiter und nimmt entsprechend mehr Tinte auf, so daß auch mehr Tinte an das Papier abgegeben wird. – Im gleichen Maße, in dem Tinte verbraucht wird, muß Luft in den Tintenbehälter einströmen. In den Zuführer ist dazu ein Luftweg eingefräst, der die Luft in kleinsten Bläschen zum Tintenraum leitet (Abb. 1d).

Die Tintenpatrone des *Patronenfüllhalters* (Abb. 2) ist aus flexiblem Kunststoff gefertigt und mit einer Glaskugel verschlossen. Der Patroneninhalt beträgt 1 cm^3. Beim Einsetzen in den Füllhalter wird die Kugel von einem Dorn in die Patrone zurückgestoßen; sie verbleibt dort, ohne den Tintenfluß zu beeinträchtigen. Aufgabe des Zuführers ist es, die Tinte von der Patrone bis zur Feder zu leiten (Abb. 2b). Am Ende des Zuführers befindet sich eine geschliffene Zunge, die die Tinte aus der Patrone herauszieht. Außerdem ist der Zuführer so gearbeitet, daß Luft in die Patrone eintreten kann. Eine Dichtungsglocke schirmt die Patronenmündung nach den Seiten ab, um ein unbeabsichtigtes Zurückfließen der Tinte in den Schaft zu verhindern.

Der *thermic-Regler* besteht aus zwei ineinandergesteckten Hülsen, die im Zuführer liegen. Die Zwischenräume sind so berechnet, daß sich die Tinte durch Kapillarkraft an den Hülsenwänden hält. Die hier auftretenden Kräfte werden stets an der Grenze fester und flüssiger Stoffe wirksam. Auf die Moleküle der Flüssigkeit, die sich an der Grenzfläche befinden, wirken sowohl Anziehungskräfte der Moleküle aus dem Innern der Flüssigkeit als auch Anziehungskräfte der Moleküle der festen Wand. Bei der Tinte überwiegen die Kräfte zwischen Flüssigkeit und Wand, die Tinte „haftet" so an den Wänden der Kapillaren. Sie kann sich daher selbst gegen die Schwerkraft in hinreichend dünnen Röhrchen halten. Zweck dieses Systems ist es, die überschüssige Tinte aufzunehmen, die durch Erwärmung oder geringen Außenluftdruck (Ausdehnung der Luft in der Patrone) zur Feder drückt und zum Klecksen führen würde. Die Ausgleichskammern (Zwischenräume) bieten durch die volle Wirksamkeit der Kapillarkraft und durch ihre große Aufnahmefähigkeit größtmögliche Klecks- und Höhensicherheit.

Abb. 1 Kolbenfüllhalter

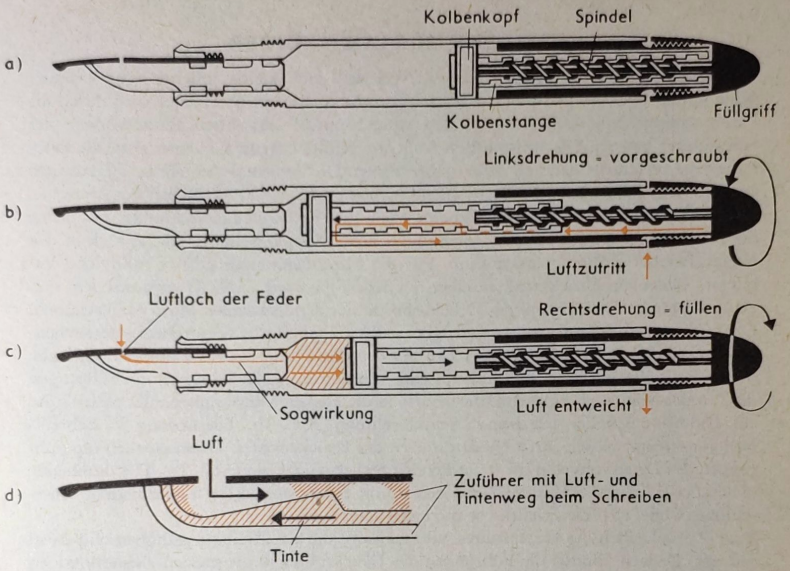
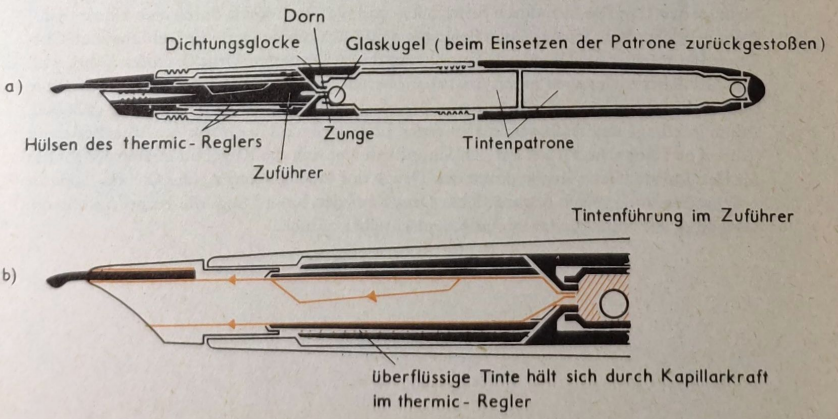


Abb. 2 Patronenfüllhalter



DRUCKKUGELSCHREIBER

Ein Kugelschreiber ist ein Schreibgerät, bei dem eine kleine rollende Kugel in der Minenspitze eine Farbmasse auf das Schreibpapier überträgt. Die Kugel wird durch die Farbmasse geschmiert, die sich in der Mine hauptsächlich durch Einwirkungen der Schwerkraft bewegt. Die stillstehende Kugel verschließt, wenn sie genau sitzt, die Farbmine und verhindert dadurch deren Austrocknen. Die Farbmasse besteht im allgemeinen aus an Olein gebundenen Fettfarbstoffen (Farbanteil rd. 10–20%). Neben den einfachen Kugelschreibern mit nicht versenkbarer Mine gibt es Druckkugelschreiber, bei denen die Mine durch mechanische Vorrichtungen in die Schreibstellung bzw. zurück in den Kugelschreiber geführt werden kann. Für die Minenbetätigung gibt es zahlreiche Varianten. Bei einem Druckkugelschreiber mit *Securit-Mechanik* (Abb. 1) wird mit dem von Hand betätigten Druckknopf das Druckrohr mit der darin sitzenden Mine vorgeschoben. Die Führungen des Druckrohres sind dabei vollständig in die im Schaftoberteil feststehenden Steuerschlitze eingeführt (Abb. 2a). Bei der Entlastung des Druckknopfes geht die Mine durch die Wirkung der großen Feder wieder zurück. Dabei rasten die Führungen des mit der Mine verbundenen Druckrohres in die kleinen Verzahnungen der Schalthülse ein. Die Mine befindet sich dann in Schreibstellung (Abb. 2b). Die Lösung der Schreibstellung erfolgt wieder durch Niederdrücken des Druckknopfes. Dabei tauchen die Führungen des Druckrohres in die feststehenden Steuerschlitze ein (Abb. 2c). Die durch eine kleine Feder belegte Schalthülse setzt sich auf die Schrägspitzen der feststehenden Steuerschlitze, wobei sich die Schalthülse um einen Zahn weiterdreht.

Beim Zurückgehen des Druckrohres wird zunächst die Schalthülse angehoben und dabei gedreht. Danach können die Führungen des Druckrohres in die großen Zahnöffnungen der Schalthülse eintauchen, wodurch die Mine in das Schreibgerät zurückgeführt ist (Abb. 2d). Das Steuerglied ist dabei wiederum die Schalthülse, die bei jeder Betätigung des Druckknopfes eine kleine Drehbewegung ausführt.

Druckkugelschreiber mit *Kugelmechanik* sind gegenüber dem oben beschriebenen System viel einfacher gebaut, zudem ist die Kugelmechanik praktisch verschleißfest, da sie weniger Einzelteile und weder Schaltzähne noch Nocken hat. Sie wird durch den verlängerten Druckknopf, durch Schaftober- und -unterteil sowie durch eine kleine Stahlkugel gebildet (Abb. 3 u. 4a). Beim Betätigen des Druckknopfes rollt die Stahlkugel im Uhrzeigersinn in einer herzförmigen Aussparung des verlängerten Druckknopfes (Abb. 4b). Sie wird dabei nach außen durch das Schaftoberteil, nach unten durch das eingeschraubte Unterteil und nach oben durch einen Ansatz im Oberteil in gleicher Höhe gehalten. Durch ihre Lage innerhalb der herzförmigen Leitkurve wird der Stand der Mine bestimmt (Abb. 4c). Nach dem Druck auf den Knopf befindet sich die Kugel im oberen Rastpunkt der Herzkurve. Hier wird sie durch den Druck der Mechanikfeder gehalten; die Mine ist in Schreibstellung. Nach nochmaligem Druck auf den Knopf liegt die Kugel im unteren Rastpunkt, die Mine gleitet in den Kugelschreiber zurück.

Abb. 1 Druckkugelschreiber mit Securit-Mechanik

Abb. 2 Funktionsweise der Securit-Mechanik

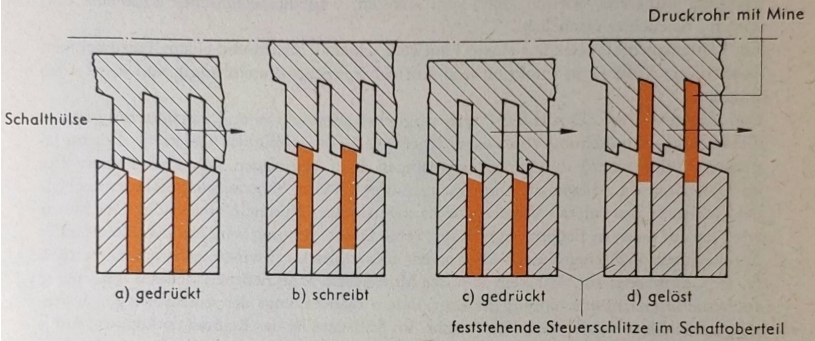


Abb. 3 Druckkugelschreiber mit Kugelmechanik

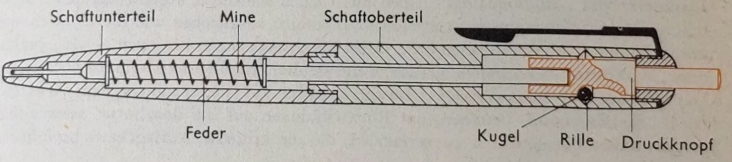
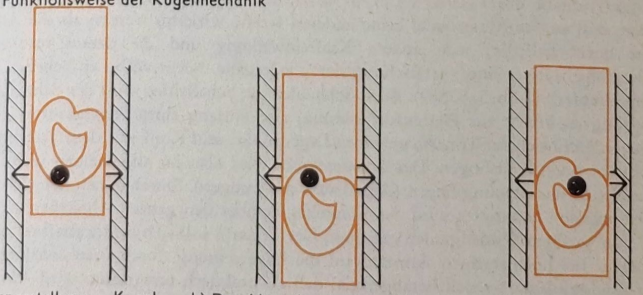


Abb. 4 Funktionsweise der Kugelmechanik



a) Ausgangsstellung — Kugel im unteren Rastpunkt

b) Druckknopf gedrückt — Kugel in Aussparung

c) Lage der Kugel bestimmt Minenstand

PLATTENSPIELER I

Der Plattenspieler ist in einer Wiedergabekette Lieferant der Tonwechselspannung, des elektrischen Abbildes der Schallwellen, die in der Schallplatte in Form von Rillen festgehalten sind (s. S. 390). Die im Plattenspieler unmittelbar erzeugte Spannung reicht nicht aus, um Lautsprecher zu betreiben. Sie muß in einem nachfolgenden Verstärker verstärkt, gegebenenfalls auch noch in ihrem Verlauf durch Entzerrer und Klangregelnetzwerke korrigiert werden. Plattenspieler, Verstärker und Lautsprecher bilden eine Wiedergabekette (Abb. 1); sie sind für hochwertige Wiedergabe meist getrennt gehalten, da sie sich bei engem Zusammenbau ungünstig beeinflussen können (Wärme, Vibrationen, Rückkopplung). Plattenspieler werden im folgenden vorwiegend unter dem Gesichtspunkt hoher Wiedergabetreue („High-Fidelity") besprochen — einmal, weil die technische Entwicklung insgesamt dorthin zielt, zum anderen, weil die technischen Probleme dort schärfer beleuchtet erscheinen.

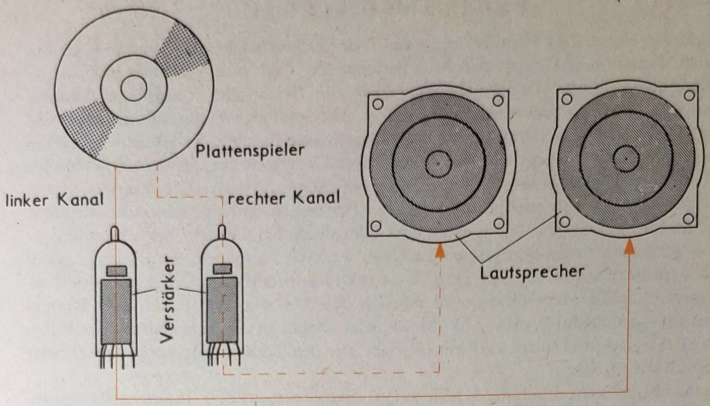
Ein Plattenspieler besteht aus einem Laufwerk, einem Tonarm und einem Tonabnehmer. Jedes dieser Teile ist in Funktion und Aufbau weitgehend unabhängig von den beiden anderen.

Das *Laufwerk* (Abb. 2) soll die Platte möglichst geräuschlos und erschütterungsfrei in gleichmäßige Umdrehung von vorgeschriebener Geschwindigkeit versetzen. Erschütterungen (Vibrationen) durch ungleichmäßigen Lauf übertragen sich über Plattenteller und Platte auf die Abtastnadel und erzeugen dort ein ihrer Schwingungszahl entsprechendes Geräusch, das sich der Wiedergabe als sogenanntes „Rumpeln" beimischt. Der Motor wird darum meist in Federn aufgehängt; seine Drehbewegung wird auf den Plattenteller durch solche Zwischenglieder übertragen, die zugleich schwingungsdämpfend wirken (z. B. Gummireibrad). Mit dem von der Motorachse angetriebenen Reibrad wird meist auch die Drehzahlumschaltung besorgt, indem man es längs der stufenförmig sich verjüngenden Motorachse verstellbar macht. Im Stillstand ist das Reibrad entkuppelt, damit es sich nicht an einer Stelle bleibend verformt und dann selbst zur Quelle von Laufunruhen wird.

Laufwerke mit „Studioqualität" haben meist einen schweren, ausgewuchteten Plattenteller, dessen Schwungmasse Antriebsschwankungen ausgleichen und die Umdrehungsgeschwindigkeit konstant halten hilft. Drehzahlschwankungen beginnen — als „Jaulen" oder „Wimmern" — hörbar zu werden, wenn sie drei Promille der Drehzahl übersteigen. Der Plattenteller hochwertiger Laufwerke sollte aus nichtmagnetischem Werkstoff (z. B. Zinkdruckguß) bestehen, um Rückwirkungen auf die dort meist verwendeten magnetischen Tonabnehmer zu vermeiden, die die kritische Auflagekraft beeinflussen könnten.

Einzige Aufgabe des *Tonarms* (Abb. 3) ist es, den Tonabnehmer so über die Platte zu führen, daß an der Abtastnadel keine anderen Kräfte wirksam werden als die Auslenkkräfte der Schallrille; jede andere Krafteinwirkung und die daraus resultierende Auslenkung wäre ja eine Verfälschung der Wiedergabe. Nicht völlig zu beheben ist der „Winkelfehler" (Abb. 5, S. 389). Beim Schneiden der Schallrillen wird der Schneidstichel geradlinig senkrecht zur Plattenlaufrichtung, also entlang eines Plattenradius, geführt. Dagegen dreht sich der Tonarm um einen Lagerpunkt, sein Kopf mit dem Tonabnehmer beschreibt einen Kreisbogen. Der Tonabnehmer wird also im allgemeinen nicht in der optimalen Abtastrichtung liegen (Anlaß zu Verzerrungen). Durch genau berechnete Abwinkelung des Tonkopfes wird der Winkelfehler über den ganzen Abtastbereich innerhalb von wenigen Winkelgraden gehalten. Der Tonarm soll sich im Idealfall reibungslos bewegen. Bei hochwertigen Armen wird die Lagerreibung durch Präzisionskugellager oder Edelsteinlager so weit herabgesetzt, daß sie praktisch unwirksam wird. Prinzipiell niemals zu beseitigen sind die Massenträgheit des Armes bei Auf- und Abbewegungen durch den sog. „Höhenschlag" der Platte und die daraus resultierenden Trägheitskräfte

Abb. 1 Wiedergabekette bei Stereowiedergabe (zwei Kanäle)



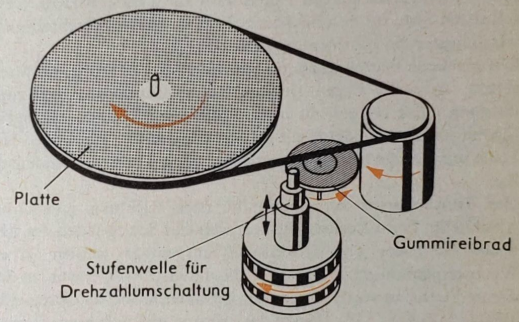


Abb. 2
Laufwerk schematisch

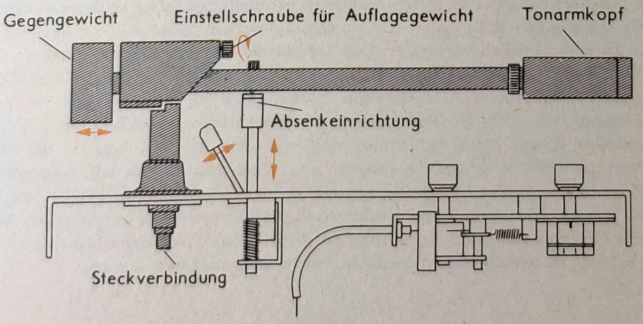


Abb. 3 Schnitt durch einen Tonarm

senkrecht zur Platte. Der Verminderung der Tonarmmasse sind Grenzen gesetzt, da der Arm sich wiederum gegenüber den Modulationen der Rille starr verhalten muß, damit sich diese der Abtastnadel als Bewegung relativ zum Tonabnehmer aufprägen können. Um ihn von statischer Schwereeinwirkung frei und damit sein Funktionieren lageunabhängig zu machen, wird ein guter Tonarm statisch ausbalanciert. In seiner senkrechten Bewegungsrichtung besorgt das ein einstellbares Gegengewicht; in der Horizontalen wird Gleichgewicht meist durch die Formgebung (Massenverteilung) des Armes unveränderlich eingestellt. Die zur Führung der Nadel erforderliche Kraft senkrecht zur Platte wird entweder schwerefrei durch eine Feder oder durch ein Gewicht hervorgerufen.

Neuerdings haben einige Spitzentonarme einen weiteren Ausgleich, der das sog. „skating" kompensieren soll. Infolge eines konstruktiv erforderlichen Überhangs des Tonarmkopfes über die Plattenmitte wird nämlich der Arm von den Rillen zum Plattenineren gezogen. Dadurch drückt die Abtastnadel stärker an die Innenflanken der Rillen (Abb. 4). Als Ausgleich dient z. B. ein Gewicht, das den Tonarm mit genau berechneter Kraft nach außen zieht.

Tonarme dürfen nicht durch die Schwingungen der Abtastnadel zu Resonanzschwingungen angeregt werden, sondern müssen sich über den ganzen Wiedergabebereich hinweg starr verhalten. In einigen Fällen wird als Werkstoff Holz verwendet, das wegen seiner zellularen Struktur besonders schwingungssteif ist. Verbreitet sind Stahltonarme mit verwindungsfestem rohrförmigen Querschnitt.

Zur größeren Plattenschonung lassen sich die Tonarme oft durch Hilfseinrichtungen aufsetzen. In Ruhe liegen sie auf einem Rastbogen, der zum Aufsetzen durch Betätigung eines Hebels mit untersetzter Geschwindigkeit abgesenkt, bei manchen Ausführungen sogar hydraulisch gebremst wird. Der Rastbogen hat keine Verbindung, also keine unzulässige Einwirkung mehr auf den Tonarm, nachdem die Abtastnadel aufgesetzt hat.

Der Tonabnehmer verwandelt die nach Richtung und Größe der Geschwindigkeit („Schnelle") und Auslenkung wechselnden Bewegungen der Abtastnadel, die ihr von der Schallrille (oder von Störkräften) aufgeprägt werden, in entsprechende elektrische Wechselspannung. In Kristalltonabnehmern (Abb. 6) werden durch die Nadelauslenkung dünne Plättchen von Seignettesalz gebogen, wobei an diesen infolge des piezoelektrischen Effektes (vgl. S. 116) elektrische Spannungen auftreten. In magnetischen (und dynamischen) Tonabnehmern (Abb. 7) wird die Spannung in einer Spule (bei Stereotonabnehmern zwei Spulen) durch Relativbewegung zu einem Magnetfeld erzeugt. Magnetsysteme sind aufwendiger und teurer und liefern geringere Spannung als Kristallsysteme, erzeugen aber prinzipiell weniger Verzerrungen und werden darum für die hochwertige Wiedergabe ausschließlich verwendet. Die Abtastnadel muß eine dem Rillenquerschnitt entsprechende Spitzenverrundung haben, damit sie sicher auf den 45 Grad steilen Rillenflanken läuft (vgl. Abb. 8). Das bewegte System muß im Tonabnehmer so nachgiebig gelagert sein, daß die Nadel jedem schnellen Richtungswechsel der Rille fast widerstandslos folgen kann. Schließlich muß aus dem gleichen Grunde die Masse aller bewegten Teile so klein wie möglich sein. Tonabnehmer mit sehr nachgiebigen Nadelhalterungen können mit entsprechend geringer Auflagekraft geführt werden. Moderne Spitzen-Tonabnehmer mit großer Nachgiebigkeit und geringer bewegter Masse setzen die Deformierung und Zerstörung der Schallrillen durch das Abspielen so weit herab, daß eine Plattenabnutzung schließlich nicht mehr nachzuweisen ist.

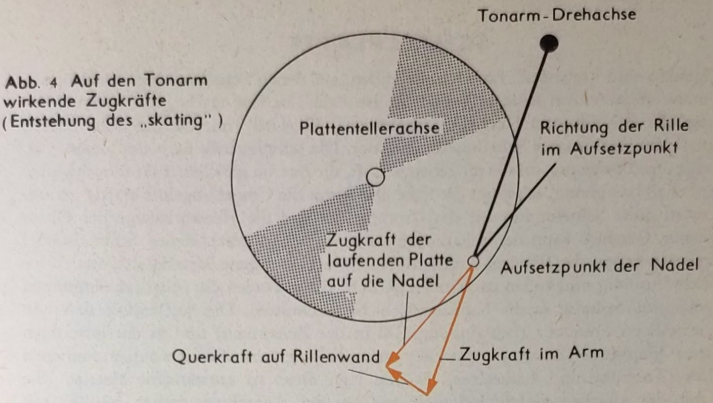


Abb. 4 Auf den Tonarm wirkende Zugkräfte (Entstehung des „skating")

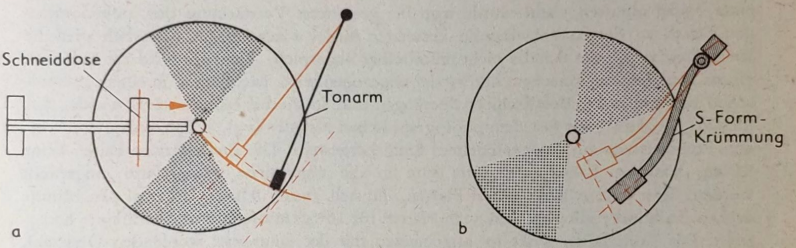


Abb. 5 Entstehung (a) und Behebung (b) des Winkelfehlers

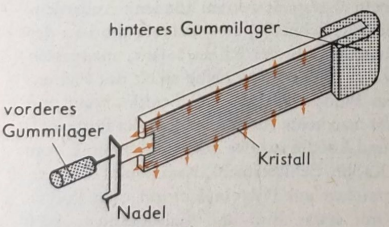


Abb. 6 Kristalltonabnehmer schematisch

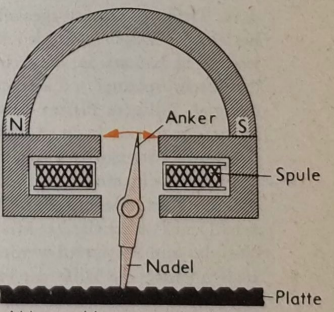
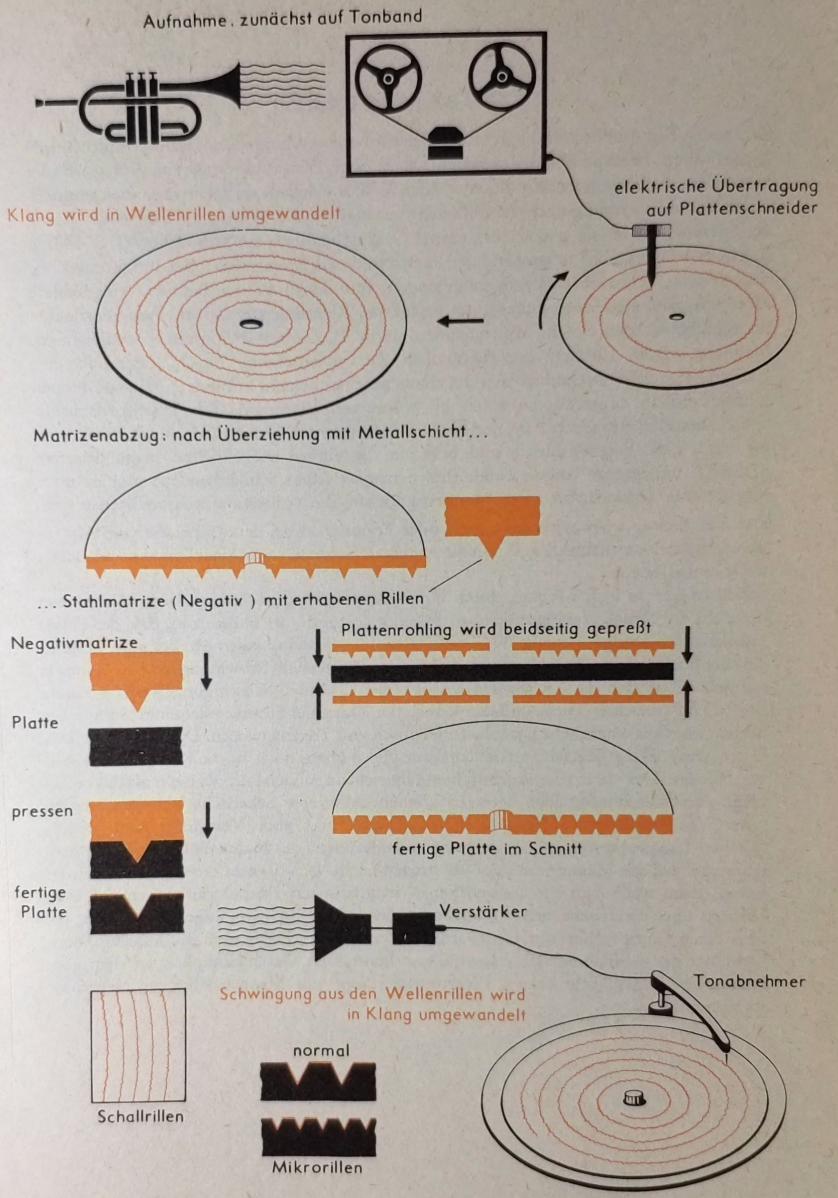


Abb. 7 Magnettonabnehmer schematisch

Abb. 8 Größenvergleich der drei Rillenarten

SCHALLPLATTE

Schallplatten sind kreisrunde Kunststoffscheiben, auf denen Schall in einer spiralförmig nach innen verlaufenden Rille aufgezeichnet ist. Schall ist eine rasche, schwingende Bewegung, die wir mit dem Hörorgan empfinden. Er wird von schwingenden festen, flüssigen oder gasförmigen Schallquellen erzeugt. Die schwingende Saite der Geige z. B. überträgt ihre Bewegung auf die umgebende Luft, die nun im gleichen Takt mitschwingt. Ist der Schall laut genug, schwingt die Saite und damit die Umgebungsluft kräftig genug, dann wird diese Schwingung auf das Trommelfell und die Hörwerkzeuge des Ohres übertragen. Genauso kann der Schall auch auf einen scharf geschliffenen Schneidstichel übertragen werden, der eine mit Kunststoffschichten überzogene Metallplatte ritzt. Wird der Stichel spiralig von außen nach innen geführt, dann werden die Schallschwingungen als Wellenlinie spiralig in die Kunststoffschicht geschnitten. Die Wellenlinie fixiert in ihrer jeweiligen Frequenz (Schwingungszahl in der Zeiteinheit) und in der jeweiligen seitlichen Amplitude (Schwingungsweite) genau die Gegebenheiten des aufgenommenen Schalles (Tonhöhe und Lautstärke). Würde man diese so entstandene Matrize (die sich mit der gleichen Geschwindigkeit wie bei der Aufnahme drehen müßte) mit einer Nadel abtasten, dann würde man bei geeigneter Verstärkung den aufgenommenen Schall an der in Schwingung versetzten Nadel wieder hören. Natürlich wird die Erstaufzeichnung des Schalls nicht unmittelbar abgespielt. Vielmehr wird die Folie mit einem Lacküberzug versehen, der wieder abgezogen wird, nachdem er in einem galvanischen Bad mit einer Metallschicht überzogen und so mechanisch verstärkt wurde. Aus diesem „Negativ", das fast dem photographischen Negativ (vgl. S. 230) entspricht, werden Preßmatrizen aus hochveredeltem Stahl hergestellt. Die Preßmatrizen haben keine Rillen, sondern Erhebungen, die nun in die eigentliche Schallplatte eingepreßt werden. Man unterscheidet dabei Platten, die sich 78mal, 45mal, $33^1/_3$mal pro Minute drehen. In Sonderfällen werden auch Platten für $16^2/_3$ Umdrehungen pro Minute hergestellt. Die Tonqualität sinkt im allgemeinen mit der langsamer werdenden Drehzahl, aber es kommt auch sehr auf die Qualität des Plattenspielers (s. S. 386 ff.), des Tonabnehmers und des Plattenmaterials an, wie gut eine Schallaufzeichnung wiederzugeben ist. Man unterscheidet ferner Platten mit normalen und mit Mikrorillen (feinere Rillen mit geringerer Tiefe, die nur mit speziellen Tonabnehmern abgespielt werden können). Außerdem besteht die Möglichkeit, den Rillenabstand nicht gleichmäßig zu gestalten, sondern der jeweiligen Lautstärke, die sich in der Schwingungsweite der Rillen äußert, anzupassen („Füllschriftplatten"). Eine entscheidende Rolle bei der Wiedergabe spielt das Plattenmaterial. Billigere Platten bestehen aus einem Bindemittel, das mit Streckmitteln und Füllstoffen vermischt ist. Als Bindemittel nimmt man heute Äthylcellulose oder Polyvinylformal. Als Streckmittel werden Naturharze und Abfälle aus der Zuckergewinnung vom Zuckerrohr eingesetzt; als Füllstoffe werden Kaolin, Schiefermehl, Kreide und Ruß verwendet. Wertvolle unzerbrechliche Platten bestehen aus Polyvinylchlorid oder Polyvinylchlorid-Polyvinylacetat-Mischpolymerisat mit etwas Ruß und Stabilisatoren. Auch Plexiglas und Polystyrol werden für die Plattenherstellung verwendet. Die Rillen werden in allen Fällen mit Hilfe der Preßmatrize bei Hitze und unter hohem Druck eingepreßt. Postkartenschallplatten haben eine harte Kunststoffschicht, in die die Rillen eingepreßt sind. *Stereophonische* Schallplatten, die den Eindruck räumlichen Hörens vermitteln, werden mit zwei Mikrophonen aufgenommen. In der Rille sind die Aufzeichnungen in zwei um 90° gegeneinander geneigten Richtungen eingeschnitten. Der Spezialtonabnehmer des Plattenspielers überträgt die Aufzeichnungen auf zwei getrennte Lautsprecher.


Aufnahme, zunächst auf Tonband
elektrische Übertragung auf Plattenschneider
Klang wird in Wellenrillen umgewandelt
Matrizenabzug: nach Überziehung mit Metallschicht...
... Stahlmatrize (Negativ) mit erhabenen Rillen
Negativmatrize
Platte
pressen
fertige Platte
Plattenrohling wird beidseitig gepreßt
fertige Platte im Schnitt
Verstärker
Tonabnehmer
Schwingung aus den Wellenrillen wird in Klang umgewandelt
normal
Schallrillen
Mikrorillen

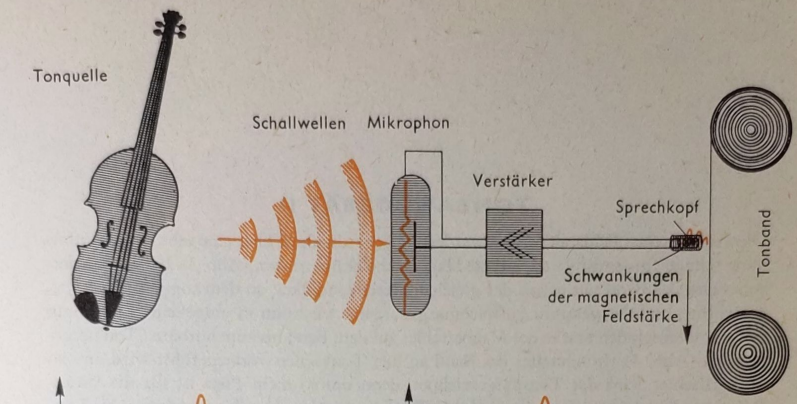
TONBANDGERÄT I

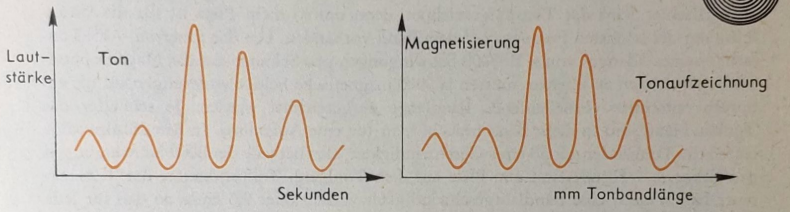
Zahlreiche Rundfunksendungen, alle Wiederholungssendungen, nahezu alle automatisch wiederholten Fernsprechinformationen (z. B. bei Fernwahlgesprächen das nach der Vorwahlnummer gegenwärtig noch ertönende Wortzeichen) stammen aus einer magnetischen Tonaufzeichnung nach dem Magnettonverfahren. Im Prinzip wird dabei der Klang der Sprache, der Musik und aller hörbaren Geräusche durch ein Mikrophon (s. S. 142) in elektrische Stromstöße umgewandelt, die ihrerseits als Spannungs- oder Induktionsstöße magnetische Feldstärkeänderungen erzeugen, mit denen in ein Tonband eingebettete Mikromagnete aus einem ungeordnet gelagerten Richtungszustand in einen geordneten übergeführt werden. Solche Mikromagnete sind z. B. Zentren in feinsten Kriställchen aus Magnetit, einem Eisenerz der chemischen Zusammensetzung Fe_3O_4, oder auch aus speziell behandeltem (Gamma-)Fe_2O_3, einem in feiner Schicht in Bindemitteln auf dünnen Kunststoffolien eingebetteten roten bis schwarzen Eisenoxid. Die Eisenoxidkriställchen haben Dicken zwischen 0,1 und 0,01 μm (Mikron) und Längen zwischen 0,3 und 1 μm. Sie sind stark magnetisierbar und behalten die einmal aufgebrachte Magnetisierung praktisch unbegrenzt lange. Außer diesen magnetischen Schichtbändern gibt es noch magnetische Massebänder oder Magnettondrähte, die vollständig magnetisierbar sind.

Der Schall eines gesprochenen Wortes oder Tones wird bei der Aufnahme vom Mikrophon zunächst mechanisch, z. B. mit einem feinen Bändchen oder einer feinen metallischen Folie, aufgefangen.

Schall ist eine in Luft hörbare, durch Druckwellen getragene Energieform. Wenn man die Zahl der Druckschwingungen pro Sekunde feststellt, so findet man, daß der tiefste musikalisch wichtige Ton aus 30 Schallwellen oder Schwingungen pro Sekunde besteht, daß die höchsten musikalisch verwertbaren Grundtöne 4000 Schwingungen pro Sekunde aufweisen und daß die höchste Hörfrequenz bei 12–16000 Schwingungen pro Sekunde liegt. Die Farbe eines Tones und damit auch der Klang der Stimme oder eines Geräusches besteht aber aus einem sehr komplexen Gemisch von Tonfrequenzen. Das dreigestrichene C der Musik klingt je nach Instrument zwar gleich hoch, doch ist die Klangfarbe jeweils verschieden. Das rührt von zugemischten Oberschwingungen her, die mehr als das sechsfache der Grundtonfrequenz betragen können. Alle diese Schallschwingungen werden vom Schallempfänger (Mikrophon) aufgefangen und über Verstärker nach unverfälschter (frequenzgetreuer) Umformung in Änderungen des Magnetfeldes eines Elektromagneten auf den Magnettonträger übertragen (Abb. 1). Will man die Geräusche wieder hören, dann muß man die festgehaltenen magnetischen Feldschwankungen auf dem Umweg über elektrische Schwingungen wieder in Schallschwingungen umformen, die über einen Lautsprecher hörbar gemacht werden können. Dabei muß das Magnetophonband bei der Aufnahme mit einer äußerst konstanten Geschwindigkeit an dem sog. Sprechkopf, einem sehr feinen Elektromagnetkopf mit Magnetschlitz, vorbeigeführt werden (Abb. 2).

Abb. 1 Aufnahme





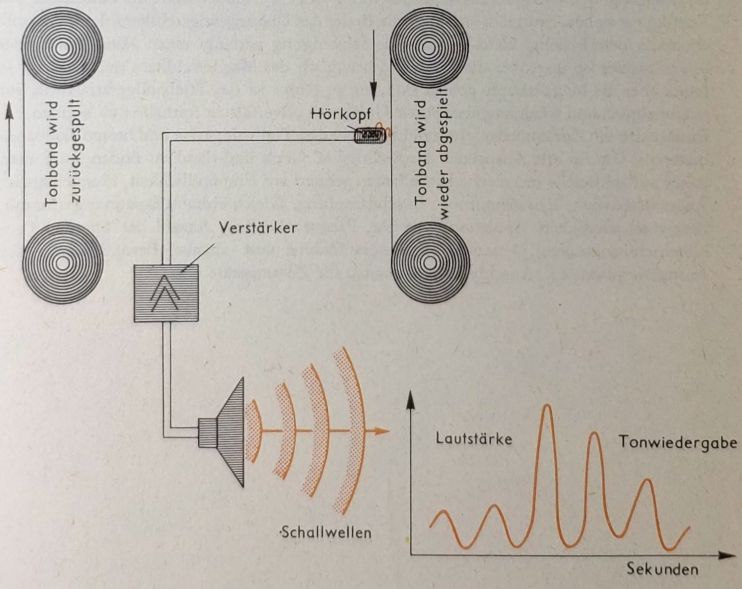


Abb. 2 Wiedergabe

TONBANDGERÄT II

Die magnetischen Feldänderungen werden bei der Aufnahme über eine sehr kurze Entfernung (einige Tausendstel mm) auf die Magnetschicht übertragen (Abb. 3). Bei der Wiedergabe wird das Band mit genau der gleichen Geschwindigkeit an dem sog. Hörkopf vorbeigeführt, und der gesamte Aufzeichnungsvorgang wird nun in umgekehrter Richtung von der wechselnden Stärke des Magnetfeldes auf dem Band bis zum hörbaren Ton umgewandelt (Abb. 4). Je schneller das Band an den Tonköpfen vorbeigeführt wird, um so unverfälschter wird der Ton aufgezeichnet, denn um so mehr Platz ist für die Unterbringung der höchsten Frequenz auf dem Band vorhanden. Um den Oberton — die Tonfarbe — eines Klanges von z. B. 8000 Schwingungen pro Sekunde auf das Magnetophonband aufzeichnen zu können, müssen ja 8000 magnetische Feldveränderungen auf die am Sprechkopfschlitz vorbeilaufende Bandlänge aufgezeichnet werden. Je schneller das Tonband läuft, um so mehr Band braucht man für eine Aufnahme. In Rundfunkstudios laufen die Tonbänder mit 38 cm/s Geschwindigkeit, also hat jede der 8000 Schwingungen pro Sekunde 4 Hundertstel mm Platz auf dem Tonband. Tonbandgeräte der Tonamateure haben meist eine Bandlaufgeschwindigkeit von 19 oder 9,5 cm/s, so daß für jede Schwingung des 8000-Hertz-Obertones nur 2 oder 1 Hundertstel mm Bandlänge zur Verfügung stehen. Nun läßt sich aber die Breite des Übertragungsschlitzes der Tonköpfe ebenfalls nicht beliebig klein halten; jede Schwingung verlangt einen Mindestplatz, der um so größer ist, je gröber die Tonköpfe bezüglich des Magnetschlitzes gebaut sind. Je feiner aber die Magnetköpfe gebaut sind, um so teurer ist das Tonbandgerät. Musik gut aufzunehmen und wiederzugeben sowie Geräusche unverfälscht festhalten zu können, erfordert also ein Zusammenspiel sorgfältigst gebauter Tonbandgeräte und besten Tonbandmaterials. Um für alle Ansprüche das Richtige an Gerät und Band zu finden, muß man daher auf zahlreiche technische Einzelheiten achten: auf Empfindlichkeit, Frequenzgang, Aussteuerbarkeit, Klirrdämpfung, Löschdämpfung, Gleichfeldrauschspannungsabstand, Bandgeschwindigkeit, Spulendurchmesser, Frequenzbereich, Anzahl der Spuren, Tonhöhenschwankungen, Dynamik, Leistungsaufnahme und -abgabe, Besonderheiten der Aufnahmeautomatik, Anschlußmöglichkeiten für Zusatzgeräte usw.

Abb. 3 Aufnahme

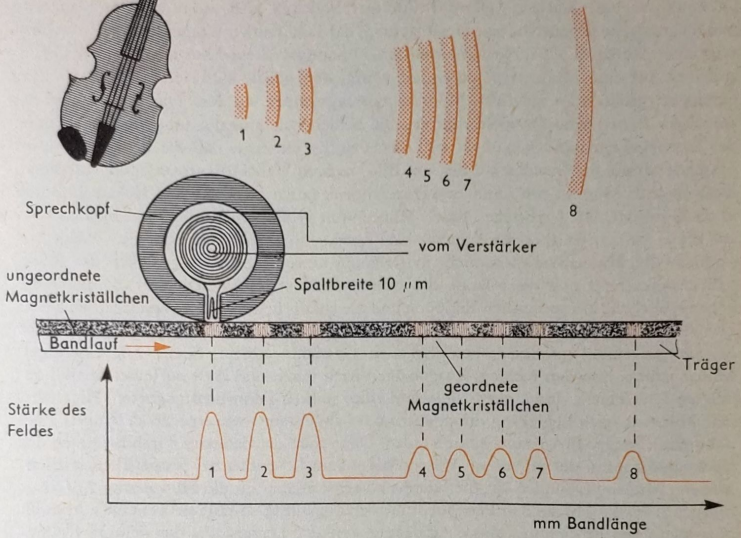
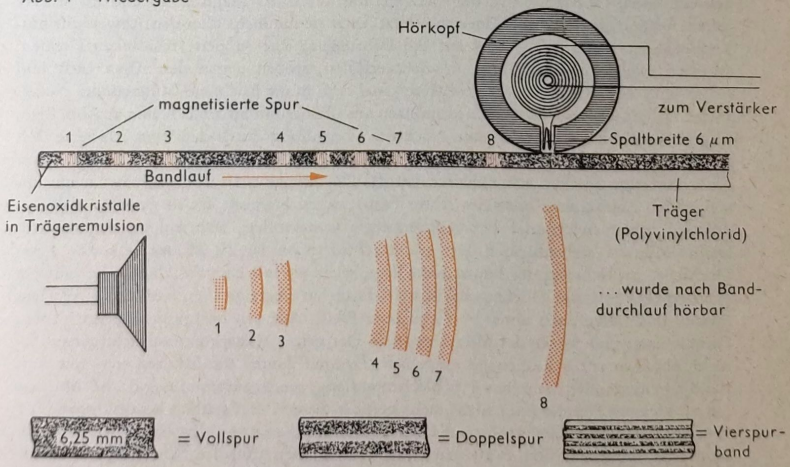
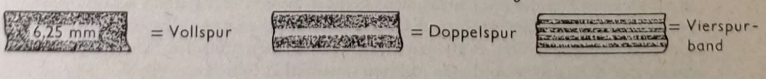


Abb. 4 Wiedergabe





Spurbreiten

AUTOMATEN (MÜNZPRÜFER)

Zu den wenigen allen Automaten gemeinsamen Bauelementen gehört der Münzprüfer, der unterwertige oder falsche Münzen ausscheidet, bevor sie den Sperrmechanismus auslösen können. Jeder Münzprüfer prüft das einlaufende Geldstück zumindest auf Durchmesser und Stärke; weitere Prüfungen beziehen sich auf Gewicht, Legierung und magnetische Eigenschaften. Meist ist noch ein Lochmarkenfänger vorhanden. Abb. 1 zeigt einen Münzprüfer für Neusilbermünzen. Die eingeworfene Münze rollt durch die Einlaufrinne auf eine Münzwaage, nachdem durch den genau kalibrierten Einwurfschlitz bereits zu große oder zu dicke Münzen zurückgehalten wurden. Die Münzwaage hat bei dieser Bauart eine Doppelfunktion: Die beiden hakenförmig umgebogenen Enden des Waagebalkens sind genau so weit voneinander entfernt, daß die im Durchmesser passende Münze ihr Gewicht auf den (im Bild) rechten Waagebalken verlagert und diesen niederdrückt. Münzen mit kleinerem Durchmesser fallen zwischen den Haken hindurch in die Geldrückgabe (schwarze Pfeile). Münzen mit größerem Durchmesser bleiben zwar auf ihnen liegen, da aber ihr Schwerpunkt genau mit dem Drehpunkt der Waage zusammenfällt, können sie diese nicht in Drehung versetzen. Durch Drücken des Rückgabeknopfes muß nun die Klappe des Münzprüfers abgeschwenkt werden, damit die liegengebliebene Münze seitlich abkippen und gleichfalls in die Geldrückgabe laufen kann. Das Gegengewicht auf dem (im Bild) linken Waagebalken sorgt dafür, daß nur eine Münze mit einem mindestens gleichgroßen Gewicht passieren kann. Die „richtige" Münze drückt nun den rechten Waagebalken nach unten und läuft auf einer kurzen geneigten Laufschiene durch das Magnetfeld eines starken Permanentmagneten. Hier wird eine Münze je nach Legierung durchlaufen oder abgebremst werden; sie kann auch – bei höherem Eisengehalt – festgehalten werden. Dann muß der Benutzer durch Betätigen des Rückgabeknopfes, der mit einem Wischerhebel zum Losreißen der festgehaltenen eisenhaltigen Münze verbunden ist, die Klappe ausschwenken, um die Münze zum Abfall zu bringen. Hat die Münze den Permanentmagneten passiert, so fällt sie auf einen Amboß. Nur wenn sie die richtige Masse (abhängig von der Legierung), die richtige Rollgeschwindigkeit (abhängig von der Verzögerung durch das Magnetfeld) und damit eine genau festgelegte kinetische Energie besitzt, kann sie nunmehr über den Abweisstift hinwegspringen (roter Pfeil) und auf die Führungsschiene in den Auslösekanal rollen. Münzen, welche diese Bedingung nicht erfüllen, stoßen gegen den Abweisstift und fallen über eine Zunge, die in den Münzkanal ragt, in die Rückgeld-Münztasche. Neben dieser Bauart ist speziell für Scheidemünzen aus plattiertem Stahlblech eine in Abb. 2 gezeigte Ausführung weit verbreitet. Nach der Vorprüfung durch den Einwurfschlitz fällt die Münze an einem Lochmarkenfänger vorbei, der mit einer in die Münzbahn ragenden Nase derartige Marken zurückhalten würde. Die Münze rollt nun auf einer leicht ansteigenden Laufschiene vorwärts (roter Pfeil); deren Steigung ist so gewählt, daß nur Münzen mit ausreichender Bewegungsenergie weiterrollen, während insbesondere zu leichte Münzen stehenbleiben. Die nächste Prüfstation ist die Münzwaage. Da deren Drehachse in Richtung der Laufschiene liegt, wirkt sie wie eine Fallklappe: zu schwere Münzen (das zulässige Höchstgewicht wird durch ein Gegengewicht bestimmt) „brechen durch" und fallen nach unten ab (schwarzer Pfeil). Auf den nächsten Etappen werden Durchmesser und Stärke der Münze geprüft. Der ganze Münzprüfer ist nicht genau lotrecht, sondern zur Seite geneigt eingebaut. Dadurch laufen die Münzen stets mit dem Rand an einem oder mehreren Prüfblechen entlang, die so eingestellt sind, daß Münzen mit zu kleinem Durchmesser nicht mehr geführt werden und seitlich herauskippen. Die Prüfung der Münzdicke erfolgt auf einer Prüfleiste, die nur an den Enden die normale Laufschienenbreite besitzt, dazwischen aber bis auf einen schmalen Steg offen ist. Der so entstehende Schlitz läßt zu dünne Münzen durchfallen (schwarzer Pfeil).

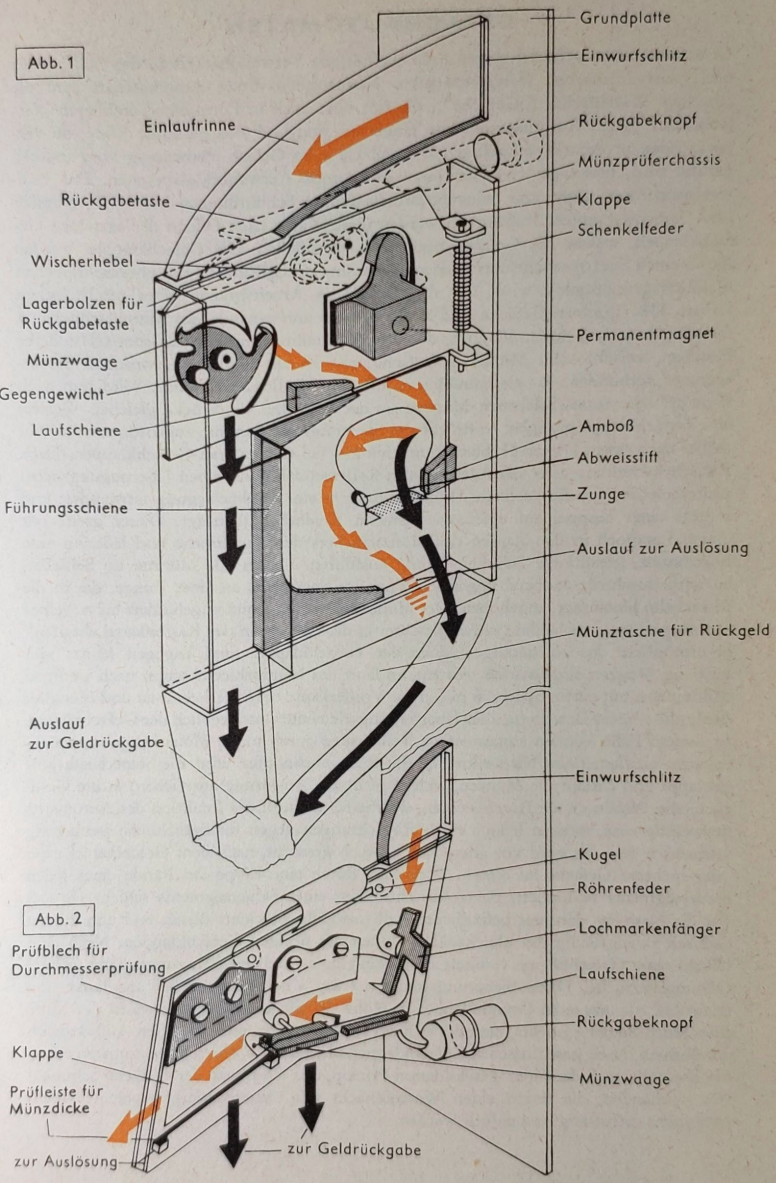
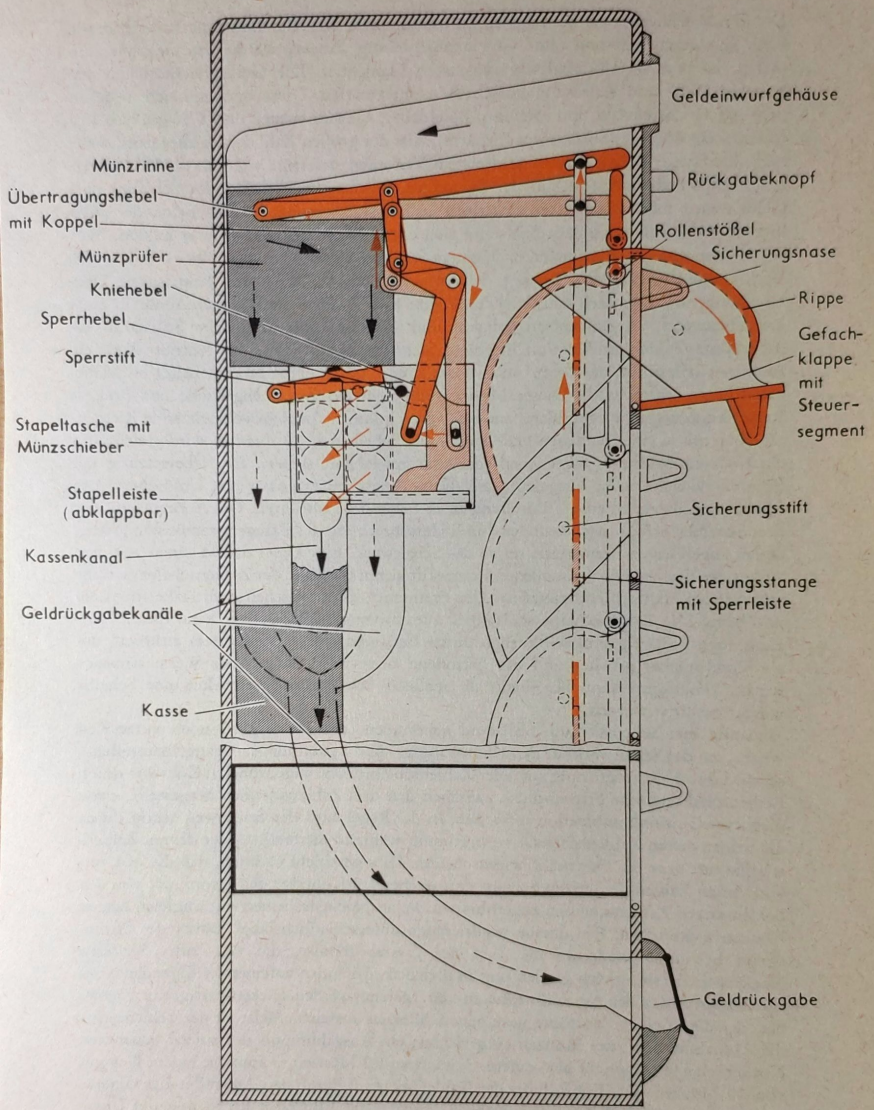


Abb. 1
Grundplatte
Einwurfschlitz
Einlaufrinne
Rückgabeknopf
Münzprüferchassis
Rückgabetaste
Klappe
Schenkelfeder
Wischerhebel
Lagerbolzen für Rückgabetaste
Permanentmagnet
Münzwaage
Gegengewicht
Laufschiene
Amboß
Abweisstift
Zunge
Führungsschiene
Auslauf zur Auslösung
Münztasche für Rückgeld
Auslauf zur Geldrückgabe
Einwurfschlitz
Kugel
Röhrenfeder
Abb. 2
Lochmarkenfänger
Prüfblech für Durchmesserprüfung
Laufschiene
Rückgabeknopf
Klappe
Münzwaage
Prüfleiste für Münzdicke
zur Geldrückgabe
zur Auslösung

GEFACHAUTOMATEN

Gefachautomaten gehören wegen ihrer vielfältigen Verwendbarkeit zu den beliebtesten und meistverbreiteten Warenautomaten. Kennzeichen dieser Automatenart sind die einzelnen Warenfächer („Gefache"), die fest oder auch in Form einer drehbaren „Gefachsäule" in das Automatengehäuse eingebaut sind und jede passende Ware, ob verpackt oder unverpackt, aufnehmen können. Da jedes Gefach unabhängig vom anderen gefüllt wird, bietet ein Gefachautomat sehr große Auswahlmöglichkeiten. Das Füllwarensortiment reicht von belegten Brötchen über Schnittblumen bis zu Dosenmilch und Damenstrümpfen. Zugänglich werden diese Waren nach Öffnen der einzelnen Gefachklappen, welche die Gefache nach vorn abschließen. Die Gefachklappen werden durch einen Sperrmechanismus verriegelt, der erst durch Einwurf des vorgeschriebenen Geldbetrages ausgelöst wird. Die Abb. zeigt das Arbeitsprinzip einer mechanischen Bauart. Die einzelnen Gefache sind in einer Reihe untereinander im Automatengehäuse fest eingebaut und durch Klappen, die aus Metallrahmen mit eingelassener Glasscheibe bestehen, verschlossen. Mit jeder Gefachklappe ist ein seitlich angeordnetes Steuersegment verbunden, das als Schubkurve auf einen Rollenstößel wirkt. Wird nun nach Einwurf der vorgeschriebenen Münzen (in der Abb. drei Geldstücke gleichen Wertes) eine Gefachklappe gezogen, so drückt das Steuersegment den ihm zugeordneten Rollenstößel nach oben. Dessen Hubbewegung wird — bei den unteren Gefachklappen durch Zwischenschaltung aller darüberliegenden Rollenstößel — auf einen Übertragungshebel weitergeleitet, der die vertikale Hubbewegung in eine Drehbewegung umwandelt und mittels einer Koppel auf einen zweiarmigen Kniehebel überträgt. Dieser greift mit einem Langloch in den Zapfen des Münzschiebers der Stapeltasche und läßt ihn eine horizontale, geradlinige Schubbewegung ausführen. Liegen alle Münzen im Schieber, so wird durch die zuoberst liegende Münze der Sperrhebel an einer Zunge, die in die Münzbahn hineinragt, angehoben. Der Münzschieber kann nun ungehindert bis zu seiner Hubbegrenzung vorlaufen (wobei gleichzeitig die Münzen in den Kassenkanal abfallen), er ermöglicht das vollständige Öffnen der Gefachklappe. Sind dagegen keine oder zuwenig Münzen eingeworfen worden, so läuft der Münzschieber schon nach wenigen Millimetern mit einem Sperrstift gegen die Vorderkante des Sperrhebels an und blockiert damit die weitere Bewegung aller Übertragungselemente einschließlich der Gefachklappe. In diesem Falle können eingeworfene Teilbeträge durch totale Münzrückgabe zurückerstattet werden: Beim Niederdrücken des Rückgabeknopfes wird die Stapelleiste aufgeklappt und entläßt die Münzen, welche nicht zur Auslösung ausreichen, in die Geldrückgabe. Neben diesen Bauelementen, welche für die normale Funktion des Automaten notwendig sind, müssen jedoch noch Einrichtungen gegen mißbräuchliche Benutzung vorhanden sein. Es wird vor allem der Versuch gemacht, nach dem Geldeinwurf zwei oder mehrere Gefache zu öffnen. Dies wird durch eine Rippe am Rande eines jeden Steuersegments verhindert. Beim Ausschwenken eines Steuersegments schiebt sie sich vor die Nase des darunter befindlichen Rollenstößels, blockiert diesen und unterbindet dadurch zwangsläufig das gleichzeitige Öffnen der übrigen Gefachklappen. Nach dem Öffnen einer Gefachklappe vereitelt außerdem eine zusätzliche Sicherungsstange weitere Öffnungsversuche. Diese Sicherungsstange ist am Übertragungshebel angelenkt und reicht bis zur untersten Gefachklappe. In Höhe des Sicherungsstifts, etwa in der Mitte eines jeden Steuersegments, befindet sich auf ihr eine Sperrleiste, die beim Aufwärtshub die übrigen, noch geschlossenen Gefachklappen blockiert. — Zigarettenautomaten arbeiten ebenfalls nach dem hier geschilderten Prinzip, nur sind statt der Gefache Schubkästen vorhanden, die durch einen Warenschacht mit übereinandergestapelten Warenpackungen selbsttätig nachgefüllt werden.


Geldeinwurfgehäuse
Münzrinne
Übertragungshebel
mit Koppel
Münzprüfer
Kniehebel
Sperrhebel
Sperrstift
Rückgabeknopf
Rollenstößel
Sicherungsnase
Rippe
Gefach-
klappe
mit
Steuer-
segment
Stapeltasche mit
Münzschieber
Stapelleiste
(abklappbar)
Kassenkanal
Geldrückgabekanäle
Kasse
Sicherungsstift
Sicherungsstange
mit Sperrleiste
Geldrückgabe

SPIELAUTOMATEN

Die durch Münzeinwurf betriebenen Spielautomaten teilt man ein in mechanisch betriebene Spielgeräte mit und ohne Gewinnausspielung. Erstere werden als Geldspielautomaten, letztere als Unterhaltungsautomaten bezeichnet. Die Geldspielautomaten sind strengen Prüf- und Zulassungsvorschriften unterworfen. Diese beziehen sich insbesondere auf Höchsteinsatz und -gewinn, Spieldauer, Gewinnchance und Gewinnverhältnis (mindestens 60% der Summe der Einsätze). Aus der großen Zahl der Geldspielautomaten ragt eine Bauart hervor, die in zahlreichen Varianten gefertigt werden: die Dreiwalzen- bzw. Dreischeibengeräte (Abb. 1). Bei diesen werden die Walzen oder Scheiben nach Geldeinwurf mechanisch oder elektrisch in Rotation versetzt und nacheinander abgebremst, wobei die nach dem Stillstand sich ergebende Kombination von Zahlen, Symbolen oder anderen Merkmalen nach einem festliegenden Gewinnplan über Gewinn oder Verlust entscheidet. Abb. 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines elektrischen Dreischeibengeräts. Die drei Zahlenscheiben sind lose drehbar auf je einer Achse in einer Zwischenwand des Automaten gelagert und so angeordnet, daß beim Stillstand eine dreistellige Zahlenkombination in einem Sichtfenster erscheint. Als Antrieb dient ein Elektro-Kleinmotor, der beim Einwurf der Münze durch einen Mikroschalter im Münzkanal eingeschaltet wird. Dieser Motor treibt über ein Zwischengetriebe und drei als Rutschkupplungen ausgebildete, auf einer gemeinsamen Antriebswelle sitzende Riemenscheiben mit je einer endlosen Federspirale die Scheiben an. Außerdem wird gleichzeitig ein Nockenschaltwerk angetrieben, das den Spielablauf steuert. Die Übersetzung der Schaltwerkswelle ist so ausgelegt, daß die Nockenscheiben genau eine Umdrehung pro Spieldauer, also z. B. eine Umdrehung in 15 Sekunden, ausführen. Die Abbremsung der drei Scheiben erfolgt nacheinander durch Unterbrechung des Erregerstromes von jeweils einem zugehörigen Bremsrelais durch das Schaltwerk. Eine Feder drückt einen mit dem Anker des Bremsrelais verbundenen Bremsstift gegen die Nabe der Zahlenscheibe, welche mit radialen Haltestiften besetzt ist. Der Bremsstift rastet zwischen zwei Haltestiften ein und bringt die Zahlenscheibe schlagartig zum Stillstand. Der Spieler kann diesen Vorgang auch vorzeitig und willkürlich durch Betätigen eines Tastschalters auslösen, der als Unterbrecher arbeitet und das betroffene Bremsrelais in gleicher Weise stromlos macht. Umgekehrt kann bei einem als Schließer wirkenden Tastschalter eine Scheibe wieder gestartet werden.

Sind alle drei Scheiben zum Stillstand gekommen (der Motor läuft noch kurze Zeit weiter, um das Schaltwerk für den Überprüfungs- und Auszahlungsvorgang anzutreiben), so wird durch die ringförmig auf jeder Zahlenscheibennabe angeordneten Kontakte durch Reihenschaltung eine Strombrücke zwischen den drei Zahlenscheiben hergestellt, wenn diese eine Gewinnkombination aufweisen. In der Regel wird der Stromweg schon durch die beiden ersten Zahlenscheiben vorbestimmt, während die Stellung der dritten Zahlenscheibe nur über die Gewinnhöhe entscheidet. Dies geschieht dadurch, daß die den verschiedenen Zahlen der letzten Scheibe entsprechenden Kontakte den Strom, der von den beiden ersten Zahlenscheiben zugeführt wurde, an Nockenscheiben mit ungleich langen Nocken weiterleiten. Die daraus resultierende unterschiedlich lange Dauer des Stromstoßes bestimmt wiederum die Zahl der Auszahlimpulse, die von einer weiteren Nockenscheibe mit gleich großen und in gleichen Abständen aufeinanderfolgenden Nokken erzeugt und an den Auszahlmagneten weitergeleitet werden. Dieser betätigt einen Schieber, der die in einer Zahlröhre gestapelten Münzen auswirft. Meist ist der Schieber für die Aufnahme von zwei Münzen eingerichtet; ein Auszahlimpuls der zuletzt genannten Nockenscheibe entspricht also einem Gewinn von 2 Münzen, 5 Impulse einem Gewinn von 10 Münzen. Die Erstfüllung der Zahlröhre muß durch den Aufsteller des Gerätes erfolgen; später füllen die eingeworfenen Münzen die Zahlröhre nach; erst der Überschuß wandert in die Automatenkasse.

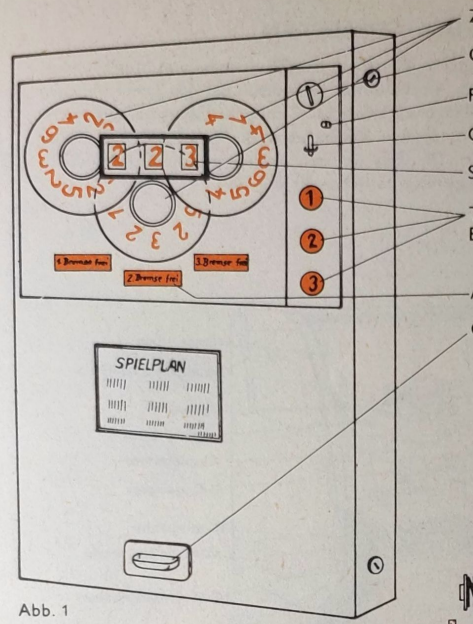

Zahlenscheibe
Geldeinwurf
Rückgabeknopf
Geldrückgabe
Sichtfenster
Tastschalter (Drucktaster) für Bremsrelais 1 - 3
Anzeige-Transparent
Gewinnausgabe
SPIELPLAN
1. Bremse frei
2. Bremse frei
3. Bremse frei

Abb. 1

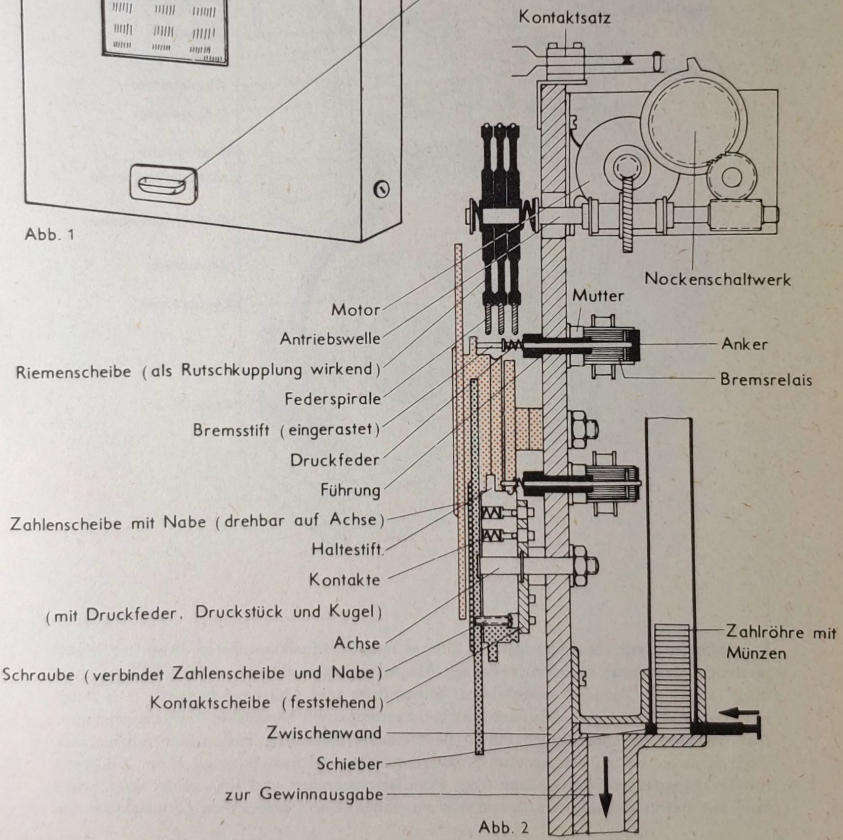

Kontaktsatz
Nockenschaltwerk
Mutter
Anker
Bremsrelais
Motor
Antriebswelle
Riemenscheibe (als Rutschkupplung wirkend)
Federspirale
Bremsstift (eingerastet)
Druckfeder
Führung
Zahlenscheibe mit Nabe (drehbar auf Achse)
Haltestift
Kontakte
(mit Druckfeder, Druckstück und Kugel)
Achse
Schraube (verbindet Zahlenscheibe und Nabe)
Kontaktscheibe (feststehend)
Zwischenwand
Schieber
zur Gewinnausgabe
Zahlröhre mit Münzen

Abb. 2

MUSIKAUTOMATEN

Musikautomaten (engl. music-box, juke-box) werden zur Wiedergabe von Musikstücken gegen Münzeinwurf hauptsächlich in Innenräumen verwendet. Bei den heute üblichen Musikautomaten sind fast ausschließlich handelsübliche 17-cm-Schallplatten in Gebrauch, die mit 45 U/min abgespielt werden. Andere Tonträger, z.B. Magnettonbänder oder -draht, haben sich nicht durchgesetzt. Die Zahl der stets beidseitig abspielbaren Schallplatten in einem Musikautomaten liegt meist zwischen 30 und 100.

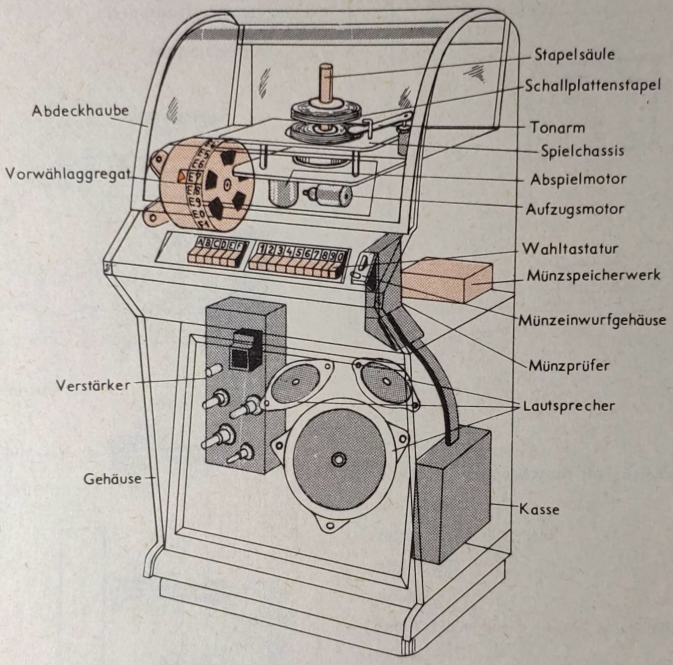


Abb. 1

Folgende Bauelemente findet man bei allen derartigen Musikautomaten (Abb. 1): Schallplattenmagazin bzw. Stapelvorrichtung, Abspielaggregat, Programmtafel, Wählvorrichtung (meist als Tastatur ausgebildet), Münzprüfer und Münzspeicherwerk (zur Registrierung mehrerer verschiedenwertiger Münzsorten) sowie Verstärker mit Lautsprechern. Das Gehäuse, welches die genannten Bauelemente aufnimmt, besitzt eine transparente Abdeckhaube. Neben den genannten Bauelementen sind manchmal noch ein Zählwerk für die abgespielten Musikstücke (sog. Popularitätsmesser) und Fernwähler (sog. wallbox) zur Fernbedienung des Automaten zu finden. Die wesentlichen Unterschiede bei

den einzelnen Bauarten beziehen sich auf die Konstruktion der Stapelvorrichtung, des Abspielaggregats und der Wählvorrichtung. Aus der Vielzahl der Konstruktionen sei nachfolgend das Arbeitsprinzip der in Abb. 1 dargestellten Ausführung beschrieben.

Nach Durchlaufen des Münzprüfers (s. S. 396), der für die Prüfung von drei verschiedenwertigen Münzsorten eingerichtet ist, fallen die Münzen je nach Wert in den dazugehörigen Münzschacht und betätigen einen Mikroschalter. Dieser gibt einen Impuls an einen ihm zugeordneten Hubmagneten im Münzspeicherwerk, der wiederum durch ein Schrittschaltwerk das sog. Additionszahnrad betätigt. Je nach Münzwert ist die Hublänge des Schrittschaltwerks unterschiedlich: Bei drei verschiedenen Einwurfwerten (z. B. 2×10 Pfg für ein Musikstück, 50 Pfg für drei Musikstücke, 1 DM für sechs Musikstücke) wird das Additionszahnrad beim Einwurf von 2×10 Pfg um einen Zahn, bei 50 Pfg um drei Zähne, bei 1 DM um sechs Zähne weitergeschaltet. Da das Additionszahnrad so viele Zähne aufweist, wie Musikstücke vorhanden sind, können alle Musikstücke (bei der besprochenen Bauart 60 Stück) durch entsprechenden Geldeinwurf „vorgewählt" werden.

Vom Münzspeicherwerk fließt nun der Strom über einen Kontakt, der zwischen dem Additionszahnrad und einem zweiten Zahnrad (dem sog. Subtraktionszahnrad) angeordnet ist, zu den beiden Tastenverriegelungsmagneten, die im Ruhezustand – solange kein Geld eingeworfen ist – die Betätigung der Wahltasten verhindern. Nach Münzeinwurf wird die Tastatur entriegelt, während gleichzeitig ein Transparent „Bitte wählen" aufleuchtet. Drückt der Benutzer jetzt je eine Buchstaben- und Zahlentaste (die Wahltastatur besteht aus sechs Buchstabentasten A bis F und zehn Zahlentasten 1 bis 9 und 0, so daß 60 Kombinationen möglich sind), so wird zunächst über Mikroschalter auf den Tastenverriegelungsmagneten der Subtraktionshubmagnet erregt, der dadurch das Subtraktionszahnrad um einen Zahn weiterschaltet. Auf diese Weise werden die Additionsschaltschritte bei jedem Musikstück wieder rückgängig gemacht, bis der eingezahlte Betrag verbraucht ist, d. h., bis das Subtraktionsrad das Additionszahnrad eingeholt hat. Jetzt wird durch den Kontakt zwischen den beiden Zahnrädern der Erregerstromkreis der beiden Tastenverriegelungsmagnete wieder unterbrochen, die Tastatur gesperrt, das Transparent „Bitte wählen" erlischt. Gleichzeitig mit dem bisher beschriebenen Vorgang im Münzspeicherwerk läuft ein Impuls von den betätigten Wahltasten in das sog. Vorwählaggregat und wird dort gespeichert.

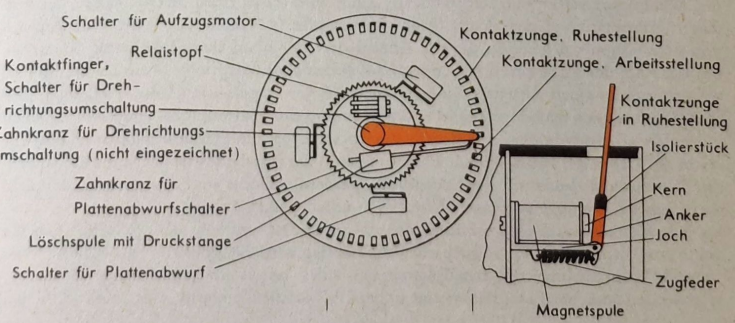


Abb. 2 Vorwählaggregat (Schema)

Das Vorwählaggregat (Abb. 2), das „Gehirn" des Automaten, sorgt dafür, daß der von der jeweiligen Wahltaste ausgehende Impuls auch auf die richtige Schallplatte übertragen wird. Dies geschieht in der Weise, daß ein zu der gewählten Tastenkombination gehörender Elektromagnet (wiederum 60 Elektromagnete im Vorwählaggregat) eine ihm zugeordnete Kontaktzunge („Spielzunge") betätigt (gleichfalls 60 Stück am Umfang des Vorwählaggregats), die zwei Kontakte verbindet und damit den Stromkreis zu dem im Vorwählaggregat befindlichen Wählmotor und zu einer mit ihm parallelgeschalteten Motorbremse schließt.

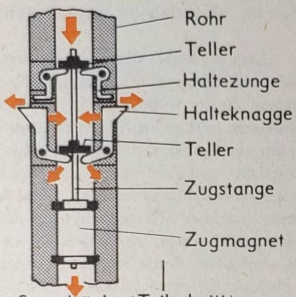


Abb. 3 Stapelsäule (Teilschnitt)

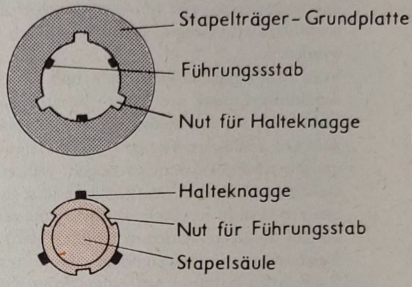


Abb. 4 Zusammenwirken von Stapelsäule und Stapelträger

Der Wählmotor treibt nunmehr einen sogenannten Relaistopf an, der mit einem Kontaktfinger die Kontaktzungen am Umfang des Vorwählaggregats abtastet. Läuft er gegen eine von einem Elektromagneten hervorgezogene Kontaktzunge an, so wird der Stromkreis des Wählmotors unterbrochen. Zugleich wird die Motorbremse stromlos und bringt den Wählmotor sofort zum Stillstand. Bis dahin wird durch einen Mikroschalter, der mit einem Zahnkranz auf dem Umfang des Relaistopfes in Verbindung steht, eine Anzahl von Stromimpulsen erzeugt, die der Anzahl der Zähne auf dem Zahnkranz (identisch mit der Zahl der nicht hervorstehenden Kontaktzungen) entspricht. Diese Stromimpulse werden nun an einen Abwurfmagneten innerhalb der Stapelsäule (Abb. 3) gegeben, der drei Halteknaggen nach innen zieht und gleichzeitig drei Haltezungen herausstößt. Dabei wird also pro Impuls eine Schallplatte abgeworfen, bis die gewählte Kontaktzunge erreicht ist. Damit die abzuspielende Platte immer in der gleichen Abspielebene liegt, sitzen die Platten nicht direkt auf der Stapelsäule, sondern auf dem sog. Stapelträger, der sich entsprechend den abgeworfenen Platten nach unten senkt (Abb. 4).

Da jede Kontaktzunge einem Musikstück entspricht, ist nunmehr die „richtige" Schallplatte erreicht. Ob diese Platte auch noch abgeworfen wird, hängt davon ab, ob die herausstehende Kontaktzunge der Schallplattenober- oder -unterseite entspricht. Im Tastatursystem bezeichnet bei dieser Bauart eine ungerade Zahl die Unterseite, eine gerade Zahl die

Oberseite der abzuspielenden Schallplatte. Wird z.B. das Musikstück B1 gewählt, so müßten, beginnend mit der Schallplatte A1/2, welche im Schallplattenstapel zuunterst liegt, die Schallplatten A1/2, A3/4, A5/6, A7/8 und A9/0 abgeworfen werden. Da B1 die Unterseite der sechsten Schallplatte ist, wird sie nicht abgeworfen (die Kontaktzunge B1 steht heraus, der Abwurfimpuls kommt nicht mehr durch), sondern der einschwenkende Tonarm, der einen Tonkopf mit zwei Abtastsystemen besitzt, spielt diese Plattenseite von unten ab. Wird dagegen das Musikstück B2 gewählt, also die Oberseite der gleichen Platte, so läuft der Kontaktfinger an der Kontaktzunge B1 vorbei, der dieser entsprechende Zahn auf dem Zahnkranz des Relaistopfes löst einen Impuls des Mikroschalters aus, der Abwurfmagnet wird betätigt, die Schallplatte B1/2 wird abgeworfen. Nun spielt der Tonarm die Oberseite B2 von oben ab.

Das Einschwenken des Tonarms erfolgt mechanisch durch den Abspielmotor, der im Abspielaggregat zwischen zwei Platinen eingebaut ist (Abb. 5) und einerseits die Stapelsäule über den Plattenteller durch Gummirollen antreibt und andererseits auch das Einsteuern, Abheben und Aussteuern des Tonarms übernimmt. Diese unterschiedlichen Bewegungsabläufe werden durch Wechsel der Drehrichtung des Abspielmotors eingeleitet und vollzogen. Der Abspielmotor ist deshalb als Reversiermotor (für Links- und Rechtslauf) ausgelegt. So wird z. B. bei Rechtsdrehung des Plattentellers über eine Zwischenhebelrolle der Tonarm eingeschwenkt und aufgesetzt, während nach dem Abspielen der Motor umgeschaltet wird und bei Linksdrehung des Plattentellers einen Schieber spannt, der den Tonabnehmer abhebt und aussteuert. Gleichzeitig wird durch einen Plattenaufzug, der aus Aufzugsmotor, Kette mit Führung und Aufzugsbügel besteht, der Plattenstapel wieder in die Ausgangsstellung nach oben befördert. Das „Löschen" der Kontaktzungen erfolgt durch eine im Relaistopf eingebaute Löschspule, die durch einen am Spielchassis eingebauten Mikroschalter erregt wird und mit ihrem Anker die jeweilige Kontaktzunge wieder in ihre Ruhestellung zurückdrückt.

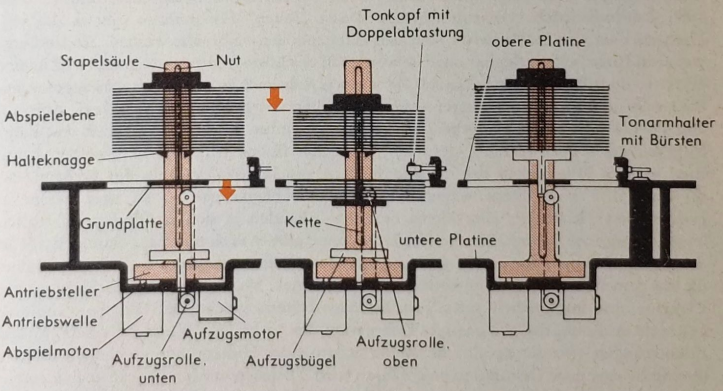


Abb. 5 Abspielaggregat (Schema)

BÜHNE I

Das barocke Maschinentheater mit seinem Verwandlungsspektakel und die Illusionsbühne mit ihrem möglichst naturgetreuen Szenenpomp gehören zwar der Vergangenheit an, doch kommt auch heute kein größeres Theater ohne eine ausgedehnte Bühnenmaschinerie aus, wenn es den Forderungen, die an den modernen Bühnenbetrieb gestellt werden, gerecht werden will. Bei dem abwechslungsreichen Spielplan der Repertoiretheater ist es Ziel der Bühnentechnik, Anlagen zu schaffen, mit deren Hilfe man alle erforderlichen Dekorationen ohne großen Aufwand stabil und sicher errichten kann, und die dazu einen schnellen und reibungslosen Szenenwechsel ermöglichen. Ein Universalsystem, eine technische Idealbühne gibt es nicht und kann es auch gar nicht geben, da eigentlich jede neue Inszenierung wieder neue Probleme mit sich bringt — es hat somit praktisch jedes Theater eine andere bühnentechnische Einrichtung. Daher kann in diesem Zusammenhang nicht erklärt werden, wie die Bühnenmaschinerie schlechthin funktioniert, sondern es können nur verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt werden, die beim heutigen Theater üblicherweise angewendet werden.

Grundsätzlich kann man bei allen größeren Theatern den Bühnenraum vertikal in drei Bereiche einteilen: die Untermaschinerie mit den Antriebsvorrichtungen und den Versenkungsmöglichkeiten, den Bühnenboden mit der eigentlichen Spielfläche und den Seiten- und Hinterbühnen und die Obermaschinerie mit dem Rollenboden (Schnürboden), den dort angebrachten Arbeitsgalerien, Beleuchtungsbrücken, Vorhang- und Prospektzügen, dem Rundhorizont usw. (Abb. 1). Unterschiedlich sind die Methoden, mit denen die Verwandlungen vorgenommen werden. Das heute am häufigsten benutzte Verwandlungssystem ist die *Drehbühne* (vgl. Abb. 2), eine an sich altbekannte Einrichtung, die jedoch für das neuzeitliche Theater erst 1895 von K. Lautenschläger in München konstruiert wurde. Es handelt sich dabei um eine große kreisförmige Fläche, die um ihre Achse gedreht werden kann. Sie ist meistens in den Bühnenboden eingebaut und auf Trägern und Rollen gelagert. Ihr Durchmesser ist gewöhnlich gleich der gesamten Tiefe der Hauptbühne. Die einzelnen Szenenbilder werden sektorartig auf diese Scheibe aufgebaut und nacheinander vor die Bühnenöffnung gedreht (Abb. 3, S. 409). Der Antrieb erfolgt im allgemeinen durch einen Elektromotor mit Hilfe eines Drahtseiles, mitunter wird auch Zahnradantrieb verwendet. Neben diesen „festen" Drehbühnen gibt es die sog. Drehscheiben, die im Bedarfsfall auf den Bühnenboden aufgesetzt werden. Sie sind entweder in Einzelteile zerlegbar oder sie werden in der Mitte zusammengeklappt und in eine Kassette im Bühnenboden versenkt. Sie können aber auch in einen Bühnenwagen eingebaut sein und so von der Hinter- oder Seitenbühne eingefahren werden (vgl. Abb. 2). Der Vorteil der Drehbühne gegenüber anderen Systemen ist die Schnelligkeit und Lautlosigkeit des Szenenwechsels, der auch bei offener Bühne vorgenommen werden kann. Eine weitere Möglichkeit der Verwandlung ist die *Schiebebühne*, d. h. der Szenenwechsel mit Hilfe von Bühnenwagen. Bei diesen Bühnenwagen — sie sind schon im griechischen Theater als Ekkyklema bekannt — handelt es sich um flache, auf Rollen leicht bewegliche Podien. Wie bei der Drehbühne gibt es auch hier Einrichtungen, die in den Bühnenboden eingelassen sind und auf einer Führungsschiene laufen, und solche, die auf dem Bühnenboden frei bewegt werden können. Sie werden entweder durch einen Elektromotor angetrieben oder von Bühnenarbeitern geschoben. Die Verwandlung geschieht dadurch, daß die gesamte Dekoration des vorherigen Bildes auf einem großen Bühnenwagen von der Spielfläche in die Seiten- oder Hinterbühne geschoben und an ihre Stelle eine neue Dekoration eingefahren wird. Daneben verwendet man auch kleinere Bühnenwagen, auf denen nicht das ganze Bühnenbild, sondern nur einzelne Praktikabeln (feste Bühnenaufbauten) in die Szene geschoben werden.

Schließlich wäre noch die *Versenkbühne* zu nennen, bei der die Verwandlung durch Heben oder Senken des Bühnenbodens erreicht wird. Der Antrieb geschieht hydraulisch. Man unterscheidet zwischen Personen-, Tisch- und Plateauversenkungen. Die Personenver-

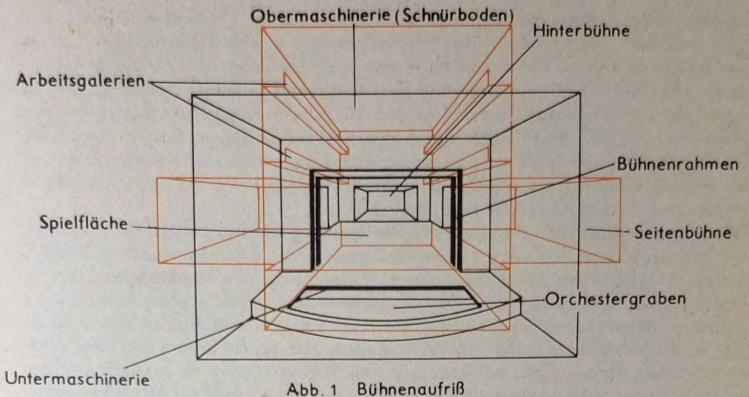


Abb. 1 Bühnenaufriß

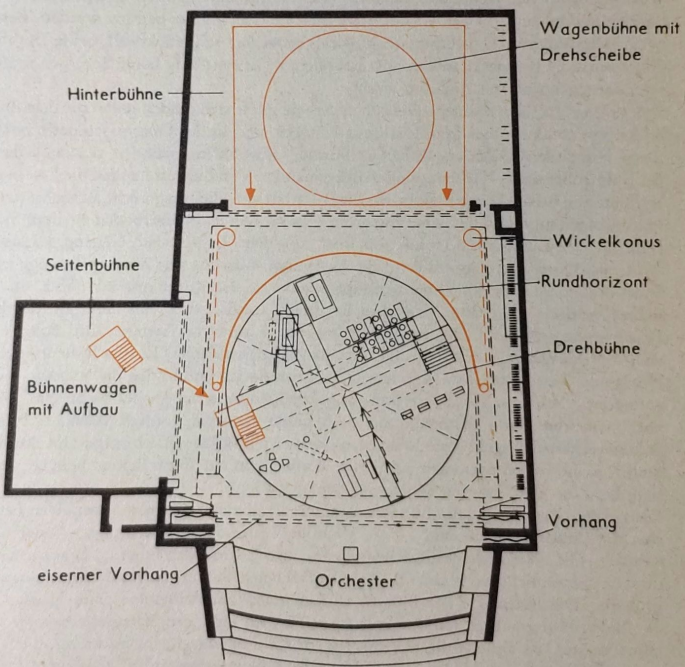


Abb. 2 Bühnengrundriß

senkung (früher einmal eine sehr wichtige Einrichtung des Theaters) wird heute kaum noch gebraucht. Tischversenkungen haben normalerweise eine Tiefe von etwa 1 m und eine Breite von 6–10 m. Auf ihnen werden einzelne Bühnenbildteile in die Untermaschinerie versenkt. Bei der Plateauversenkung wird das gesamte Bühnenbild versenkt. Man hat hierzu die verschiedensten Systeme entwickelt. Bei der Doppelstockbühne sind zwei übereinanderliegende Spielflächen starr miteinander verbunden, die eine im Ausgangszustand in der Höhe der Spielebene, die andere in der Unterbühne. Zum Szenenwechsel wird die gesamte Konstruktion angehoben, wodurch die Dekoration der oberen Spielfläche in der Obermaschinerie verschwindet (Abb. 4).

Diese verschiedenen Bühnensysteme werden natürlich nicht grundsätzlich unabhängig voneinander benutzt, sondern man versucht immer wieder, durch Kombination neue und bessere Möglichkeiten zu finden. So wird beispielsweise die Versenkbühne mit der Schiebebühne verbunden, indem über das versenkte Bühnenbild von der Seite oder von hinten ein Bühnenwagen mit der neuen Dekoration gefahren wird. Eine weitere Möglichkeit ist die kombinierte Dreh- und Versenkbühne. Man spricht hierbei von einer *Drehzylinderbühne*. Bühnenwagen mit einzelnen Praktikabeln können als zusätzliches Hilfsmittel bei jedem System mitverwendet werden. Unter der Vielzahl der Möglichkeiten sei noch die doppelte Drehbühne genannt. Hier ist auf einer großen Drehbühne noch eine kleinere eingebaut. Je nach Bedarf kann die eine oder andere benutzt werden. Besonders bei Ausstattungsstücken (Operette, Musical) ist es aber sehr effektvoll, beide Drehbühnen gleichzeitig zu benutzen, indem man bei offener Verwandlung beide Scheiben in gleicher oder entgegengesetzter Richtung dreht.

Ein großer Teil der bühnentechnischen Arbeit spielt sich jedoch nicht auf dem Bühnenboden ab, sondern über ihm. Zu diesem Zweck sind in der Obermaschinerie besondere Stege vorhanden: Galerien, Brücken, Türme. Gewöhnlich befinden sich an jeder Seite des Bühnenhauses 3–4 Arbeitsgalerien übereinander. Von hier aus werden die Prospektzüge bedient. Ein Prospektzug besteht aus einer Laststange, die waagerecht an mehreren Tragseilen aufgehängt ist. Die Seile führen über Laufrollen im Schnürboden zu einer Sammelrolle an der Bühnenwand und von dort mit dem Zugseil zur Gegengewichtsstange (Abb. 5). Durch das Zugseil kann die Laststange aufwärts und abwärts bewegt werden. Eine besondere Art des Hintergrundprospekts ist der Rundhorizont (Abb. 6). Er ist halbzylindrisch aufgehängt und wird bei freien Landschaften mit Hilfe entsprechender Beleuchtung (diffuses Licht) zur Darstellung des Luftraumes benutzt. Oft dient er heute aber auch als neutraler Hintergrund oder als Projektionsfläche. Es gibt feste und schlappe Horizonte. Feste Horizonte sind starre Konstruktionen und bilden die ständige Bühnenrückwand. Schlappe Horizonte sind aus Spezialleinwand mit großer Webbreite. Sie sind zur Vermeidung von Faltenbildung nach unten zu leicht konisch verkürzt. Wird der Rundhorizont nicht gebraucht, wird er in den meisten Fällen seitlich aufgerollt. Damit auch hierbei keine Falten entstehen, wird zum Aufwickeln ein Wickelkonus benutzt, auf den sich das Zug- und Tragseil Schlag auf Schlag auflegt.

Die vordere Begrenzung des Bühnenausschnittes bildet der Bühnenrahmen. Hier befinden sich die Hauptvorhänge und — als wichtige Feuerschutzvorrichtung — der eiserne Vorhang. Die Seitenteile des Rahmens nennt man Türme, den Oberteil Brücke. Sie sind mitunter beweglich, um je nach Bedarf den Bühnenausschnitt zu verkleinern oder zu vergrößern. Die Innenseite des Bühnenrahmens dient zur Aufnahme eines großen Teiles der Beleuchtungsanlage (Abb. 7). In den Türmen sind die Seitenscheinwerfer untergebracht, auf der Brücke die Scheinwerfer für die Spielflächenbeleuchtung, die Verfolgungsscheinwerfer, die Horizontleuchten, die Projektionsgeräte u. a. Weitere Beleuchtungskörper befinden sich in den einzelnen Gassen, an der Rampe und an der Decke des Zuschauerraumes.

Abb. 3 Drehbühne mit verschiedenen Szenen

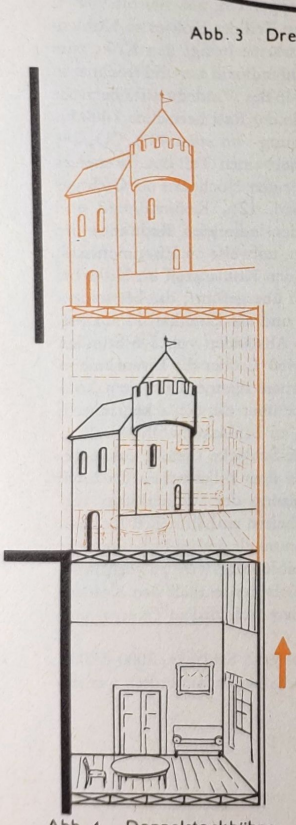


Abb. 4 Doppelstockbühne

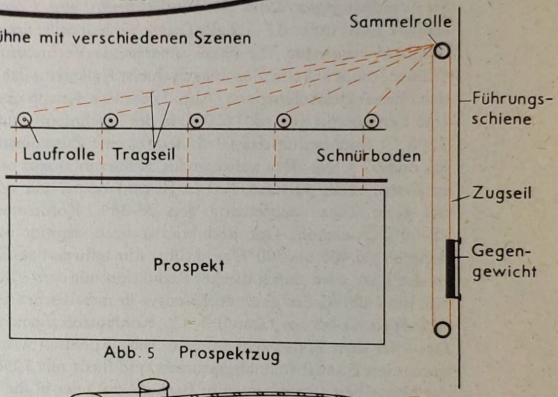


Abb. 5 Prospektzug

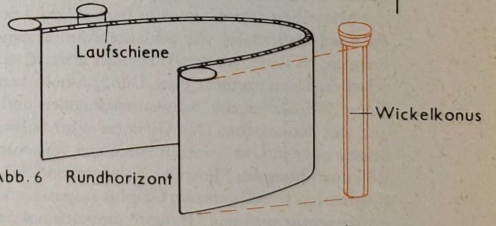


Abb. 6 Rundhorizont

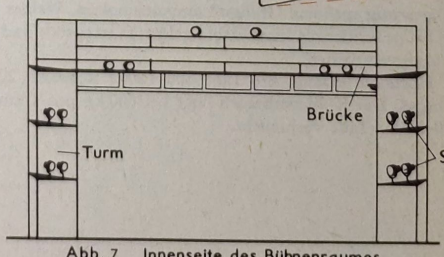


Abb. 7 Innenseite des Bühnenraumes

HOCHOFEN

Der *Hochofen* ist ein bis über 30 m hoher Schachtofen, der aus einem unteren zylinderförmigen Teil (Gestell mit Bodenstein), einem darauf ruhenden, nach oben erweiterten Hohlkegel (Rast), einem zweiten, sich nach oben verengenden Kegel (Schacht) und einem oberen Verschlußdoppelkegel (Gicht) besteht (Abb. 2). Diese Form ist dem technologischen Ablauf bei der Erzreduktion, dem Wanderungs-, Sinterungs- und Schmelzprozeß im Hochofen optimal angepaßt. Die Hochofenwände sind innen mit feuerfesten Schamottesteinen ausgekleidet, der heißere Teil des Hochofens (Gestell und Bodenplatte) ist mit Kohlenstoffsteinen ausgemauert. Die Außenmauern sind von einem Stahlblechpanzer umschlossen, der gekühlt wird. Der Hochofen wird von der Gicht aus schichtenweise mit Hüttenkoks, Eisenerz und Zuschlägen beschickt. Von dem unteren Ofenteil wird über die Windleitungen Wind (in Winderhitzern, sog. Cowperapparaten, auf 500 bis 900° C erhitzte Luft) unter 0,7–1,2 atü Druck eingedrückt, der einen Teil des Kokses zu Kohlenmonoxid verbrennt. Die dabei entstehende Verbrennungswärme bringt den Koks zum Glühen, treibt aus den Zuschlägen (meist Kalkstein) das Kohlendioxid aus und trocknet in den oberen Hochofenzonen (Abb. 1) das Erz. Knapp oberhalb des Windeintrittes herrscht eine Temperatur von rd. 1600°C in der Hochofenfüllung, in der Rast herrschen 1400 bis 1200°C; dort besitzt das Hochofengas eine Zusammensetzung von etwa 40% CO, 2% H_2 und 57% N_2. Das aufsteigende Kohlenmonoxid reduziert einen Teil des Eisenerzes zu Eisen, einen weiteren Teil zu Eisenmonoxid und verläßt den Hochofen als Gichtgas mit einer Zusammensetzung von 28–36% Kohlenmonoxid, 12% Kohlendioxid und 52–60% Stickstoff. Der Reduktionsprozeß beginnt mit der indirekten Reduktion im Schacht bei 400 bis 700°C und führt nur teilweise zu Eisen, teilweise zu Eisenmonoxid. In der Rast wird durch direkte Reduktion mit dem glühenden Kohlenstoff im Koks bei 750 bis 1400°C das gesamte Eisenerz in metallisches Eisen übergeführt, das bei seinem Sickerprozeß bis ins Gestell 3–4% Kohlenstoff elementar und als Eisenkarbid auflöst. Das über dem Bodenstein angesammelte Roheisen wird in Abständen von 3–6 Stunden durch den Eisenabstich abgestochen und fließt mit 1250–1450°C über die Eisenrinne in das Masselbett (Sandformen in Barrenform) oder in die fahrbare Pfanne. Über dem Roheisenbad fließt durch die Schlackenform beständig Schlacke über die Schlackenrinne in Formen, in denen sie zu Bausteinen erstarrt, oder sie wird zu Schlackenwolle, Straßenschotter, Hüttenzement oder Düngemitteln verarbeitet. Die Schlacke besteht aus Kalk-Tonerde-Silikaten mit Schwermetalloxiden und stammt aus dem silikatischen Erzanteil und der Koksasche. Das Gichtgas wird teilweise zur Heizung der Winderhitzer verbrannt oder in Großgaskraftmaschinen verbraucht. Das Roheisen enthält neben Kohlenstoff noch Mangan, Phosphor, Schwefel und Silizium. Es kommt als graues Roheisen (der Kohlenstoff ist teilweise als Graphit ausgeschieden) in Kupolöfen und wird zu verhältnismäßig wenig sprödem Grauguß umgeschmolzen. Weißes Roheisen enthält den Kohlenstoff hauptsächlich als Eisenkarbid gelöst; es ist spröde und hart und wird zu Temper- und Hartguß verarbeitet.

Ein Hochofen erzeugt pro Tag: 500–1200 t Roheisen, 200–500 t Schlacke, 2000–5000 t Gichtgas. Der Kohleverbrauch liegt bei 600 kg pro Tonne Roheisen, außerdem werden 2000–5000 t Luft verbraucht.

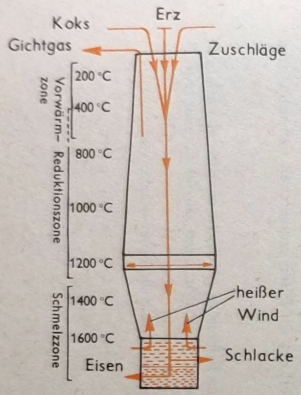


Abb. 1
Hochofenzonen

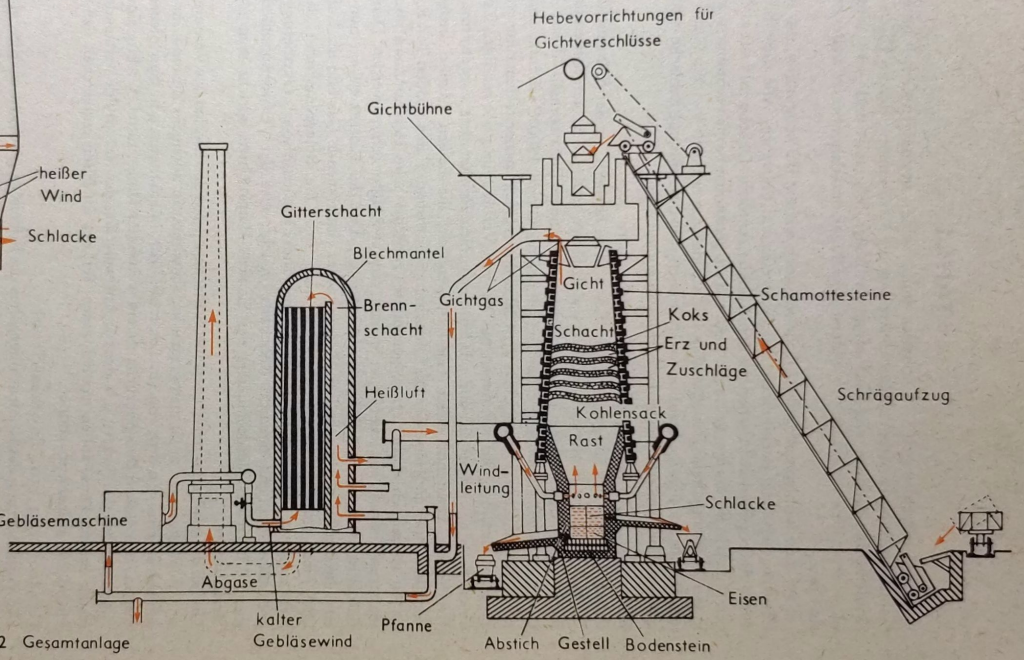


Abb. 2 Gesamtanlage

STAHL I

Stahl unterscheidet sich von Roheisen durch seinen geringeren Gehalt an Kohlenstoff. Stahlherstellung ist daher nichts anderes als die Verbrennung des im Eisen enthaltenen Kohlenstoffs; dadurch wird das Gefüge elastischer, biegsamer und — was sehr wesentlich ist — schneidbar. Stahl ist also widerstandsfähiger und daher besser weiterzuverarbeiten als Eisen.

Neben dem Kohlenstoff enthält Roheisen noch weitere Beimengungen, die seine Eigenschaften ungünstig beeinflussen, z. B. Schwefel und Phosphor. Alle diese Stoffe werden durch das sogenannte Frischen aus dem Roheisen entfernt. Dabei wird Luft mit dem flüssigen Metall in Berührung gebracht, wodurch die genannten Stoffe verbrannt, d.h. durch den in der Luft enthaltenen Sauerstoff in ihre Oxide umgewandelt werden. Diese Oxide sind leichter als der flüssige Stahl und schwimmen daher als flüssige Schlacke obenauf; man muß sie vor dem Abstechen des Stahles ablaufen lassen.

Herstellung von Siemens-Martin-Stahl

Das Kernstück des Stahlwerkes, das diesen Stahl herstellt, ist der Siemens-Martin-Ofen (Abb. 1 a). In die Herdmulde werden das Roheisen und der zu verarbeitende Schrott in fester Form durch einen Kran eingebracht. Dann wird oberhalb dieser Mulde ein Gas-Luft-Gemisch entzündet; bei der Temperatur von rd. 1800 °C schmilzt das Eisen. Das zur Verbrennung verwendete Gas wird dabei durch eine Regenerativfeuerung vorgewärmt. Dabei strömt das Gas zusammen mit der zur Verbrennung notwendigen Luft auf der einen Seite des Ofens ein und wird in der heißen Heizkammer vorgewärmt. Über der Herdmulde verbrennt dieses Gas-Luft-Gemisch; die heißen Abgase strömen durch Kanäle auf der anderen Seite des Ofens zum Schornstein. Einen großen Teil ihrer Wärme geben sie jedoch vorher an ausgemauerte, zunächst kalte Heizkammern ab. Die Ausmauerung besteht aus feuerfesten Steinen, die auf Rotglut erhitzt werden. Dann wird die Gaszufuhr umgesteuert (Regenerativfeuerung), d.h., der Eintritt erfolgt nun durch die jetzt heißen Kammern, die ihre Wärme an das einströmende Gas und die Luft abgeben und diese stark anwärmen. Dadurch kann man die Brenntemperatur der Flamme stark erhöhen (Abb. 1 b). Die Luft, die man zum Frischen, also zur Oxydierung der unerwünschten Beimengungen des Roheisens braucht, wird der Verbrennungsluft entnommen. Wegen des Herdcharakters des Siemens-Martin-Ofens spricht man hierbei von Herdfrischen.

Die bei diesem Verfahren entstehende Schlacke, die aus den Oxiden der Verunreinigungen und Beimengungen zusammengesetzt ist, schwimmt in flüssigem Zustand auf der Stahlschmelze, wird von dort abgestochen und bildet im erkalteten und gemahlenen Zustand wegen ihres hohen Phosphorgehaltes ein wertvolles Düngemittel. Wichtig sind auch die Eigenschaften des Futters, d.h. der zur Ausmauerung der Herdmulde verwendeten feuerfesten Steine. Diese sollen nämlich einen Teil des im Eisen enthaltenen Schwefels und Phosphors aufnehmen können.

Herstellung von Thomas-Stahl

Die Verminderung des Kohlenstoffgehaltes des Roheisens geschieht bei diesem Verfahren nicht in einem Ofen, sondern in einem großen, birnenförmigen, 20–60 Tonnen enthaltenden Gefäß, der Thomasbirne (Abb. 2) oder dem Thomaskonverter. Diese Birne ist aus starken Stahlblechen zusammengenietet und innen in einer Stärke von etwa $^1/_2$ m mit feuerfesten Steinen ausgekleidet.

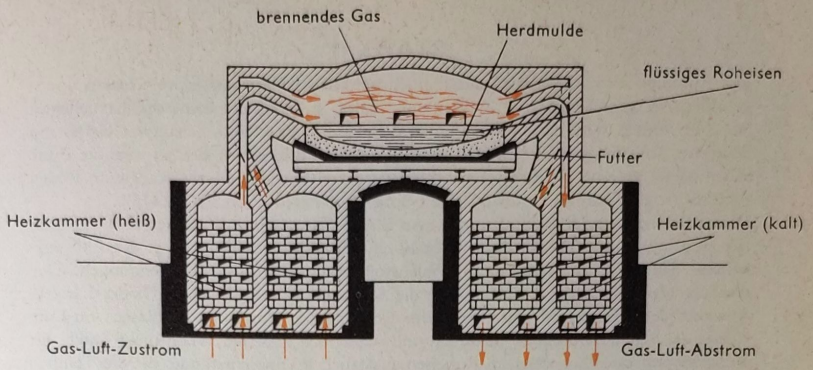


Abb. 1a Siemens-Martin-Ofen

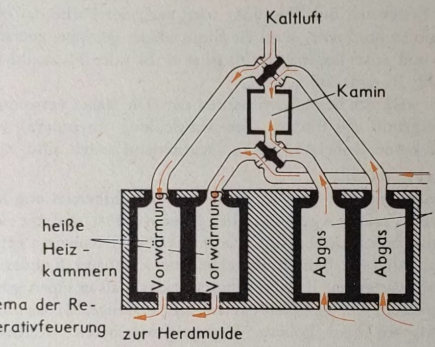


Abb. 1b Schema der Regenerativfeuerung

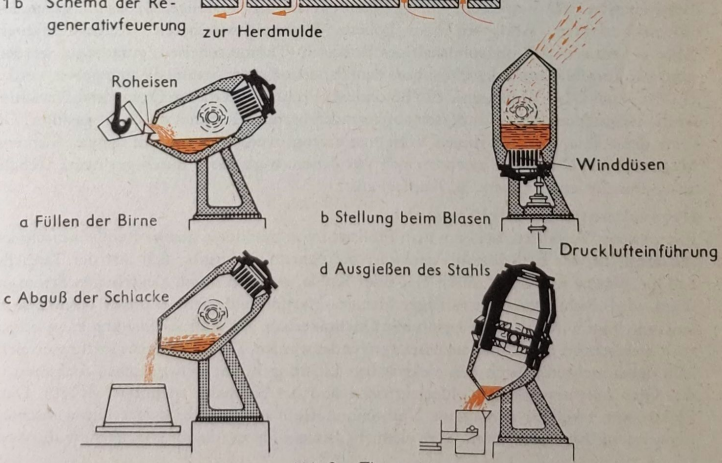


Abb. 2 Thomasbirne

Der Abschluß nach unten wird durch einen mit zahlreichen Kanälen versehenen Boden gebildet. An zwei Seiten sind Zapfen angeordnet, in denen die Birne drehbar gelagert ist. Zum Füllen wird die Birne gekippt und aus einem Pfanne genannten Gefäß mit flüssigem Roheisen gefüllt (Abb. 2a, S. 413). Ist die Füllung beendet, so wird die Birne in aufrechte Stellung gebracht, gleichzeitig wird von unten durch die Kanäle im Boden Preßluft (sog. Wind) durch die flüssige Schmelze geblasen (Abb. 2b, S. 413).

Dieses Einströmen der Preßluft nennt man Blasen, das gesamte Verfahren im Gegensatz zur Herstellung von Siemens-Martin-Stahl ein *Windfrischverfahren.* Der in der Luft enthaltene Sauerstoff verbrennt den Kohlenstoff und die anderen Beimengungen. Der der Schmelze beigemischte Kalk fördert die Abscheidung der gebildeten Oxide, d. h. das Absetzen der Schlacke auf der Oberfläche der Schmelze. Durch das Einblasen von Luft würde die Schmelze langsam abkühlen und schließlich erstarren, wenn nicht durch die Verbrennung des Phosphors im Roheisen zusätzlich Wärme entstünde, die die Temperatur der Schmelze sogar noch erhöht. In der Thomasbirne wird also vorwiegend phosphorreiches Roheisen verarbeitet.

Nach Beendigung des Frischens (der Zeitpunkt wird nach der Farbe der oben aus der Birne schlagenden Flammen bestimmt) wird die Birne wieder gekippt, zuerst die flüssige Schlacke abgeschüttet und anschließend der flüssige Stahl oder Flußstahl in Kokillen (Formen) gegossen (Abb. 2c und 2d, S. 413).

Ein ähnliches Verfahren stellt das Bessemerverfahren dar. Die dabei verwendeten Birnen sind jedoch kleiner, aufgrund des Futters (der Auskleidung im Innern) werden hier phosphor- und schwefelarme Roheisen, die in Deutschland selten sind, erschmolzen.

Herstellung von Oxygenstahl

Die Anwendung reinen Sauerstoffes zum Frischen bei der Stahlherstellung hat zur Entwicklung einer Reihe von Verfahren geführt. Allen gemeinsam ist, daß mit ein oder zwei wassergekühlten Lanzen reiner Sauerstoff auf oder in das flüssige Roheisen geblasen wird. Als Schmelzgefäß wird dabei ein basisch ausgekleideter kippbarer Konverter benutzt, der sich vom Thomaskonverter nur dadurch unterscheidet, daß er einen geschlossenen Boden besitzt (LD-Verfahren, Abb. 4a) oder ein längliches Drehgefäß, das mit geringerer (Rotor-Verfahren, Abb. 4b) oder höherer Drehgeschwindigkeit (Kaldo-Verfahren, Abb. 4c) rotiert. Soll phosphorhaltiges Roheisen (Thomasroheisen) verarbeitet werden, muß zur Verschlackung des Phosphors dem Sauerstoffstrom Staubkalk zugegeben werden (LDAC- und OLP-Verfahren). Ein besonderes Problem bei diesen Oxygenstahlverfahren ist die Beseitigung des beim Blasen auftretenden braunen Rauches durch Abgasfilter. Die Güte der Stähle, die nach diesen Verfahren erzeugt werden, entspricht der des Siemens-Martin-Stahls. Die Stähle zeichnen sich vor diesem sogar noch durch geringere Gehalte an Spurenelementen (wie z. B. Kupfer) aus.

Herstellung von Elektrostahl

Ein weiteres Verfahren, bei dem man Flußstahl von besonders großer Reinheit erschmelzen kann, ist das Elektrostahlverfahren; die Benennung ergibt sich aus der Tatsache, daß die Wärme hier nicht durch Gas oder Kohle, sondern durch elektrischen Strom erzeugt wird. Rohmaterial ist flüssiger Siemens-Martin-Stahl, der bei dieser Nachbehandlung gereinigt wird, also eine besondere Qualität erhält. Als Kaltbeschickung kann jedoch auch Stahlschrott mit Roheisenzusatz verwendet werden. Die Wärmeentwicklung erreicht man dabei meistens durch den elektrischen Lichtbogen, der sich zwischen mehreren in den Ofen hineinragenden Kohleelektroden und der Schmelze spannt (s. S. 130). Dem Elektroofen (Abb. 3) wird keine Verbrennungsluft zur Oxydation der unerwünschten Beimengung zugeführt. Man setzt vielmehr Eisenoxide zu, die ihren Sauerstoff abgeben.

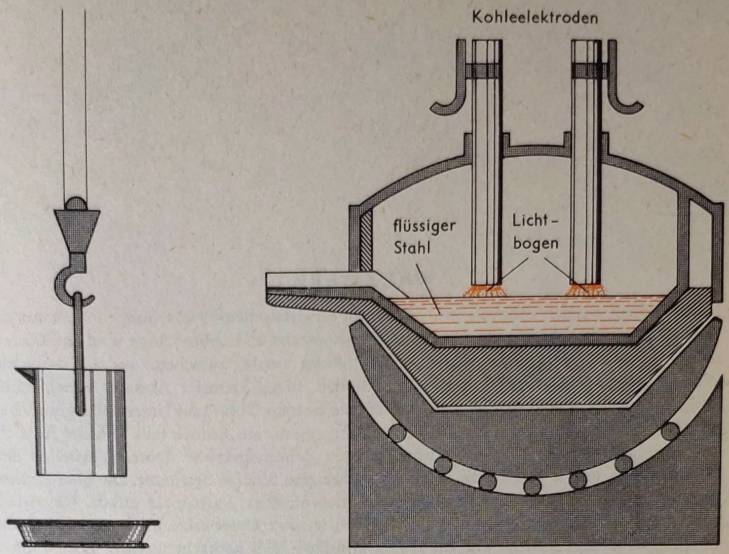
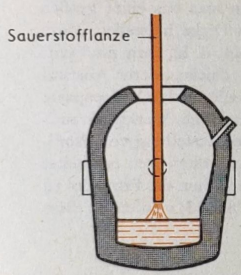
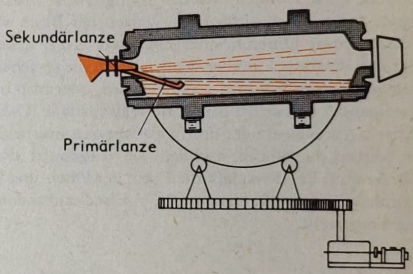


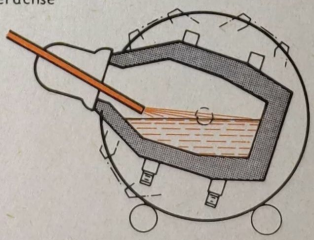
Abb. 3 Lichtbogenofen



a) LD- oder LDAC-Tiegel, kippbar um Querachse



b) Rotor mit Primär- und Sekundärlanze



c) Kaldo-Gefäß, um Längs- und Querachse drehbar

Abb. 4 Verschiedene Sauerstoff-Blasverfahren

WALZWERK I

Im Walzwerk werden Blöcke (Stahlstücke mit quadratischem Querschnitt) und Brammen (Stahlstücke mit rechteckigem Querschnitt) ausgewalzt, d. h., ihre Länge wird auf Kosten ihrer Höhe vergrößert. Die glühenden Stahlblöcke werden zwischen zwei sich drehende Walzen aus Gußeisen oder Stahlguß geschoben, deren kleinster Abstand voneinander kleiner ist als die Dicke des Blocks. Im Ständer werden Ober- und Unterwalze gesondert angetrieben. Dies geschieht oft von *einem* Elektromotor aus, jedoch teilt sich der Antrieb der einzelnen Walzen in einem vorgeschalteten Zahnradgetriebe. Durch Verstellen der oberen Walze (Abb. 1) wird die Stärke des gewalzten Stückes bestimmt. Die über Rollen herangeführten Blöcke oder Brammen werden von dem Walzenpaar erfaßt. Die dabei entstehende Reibung zwängt sie zwischen Ober- und Unterwalze hindurch, wobei sie unter gleichzeitiger Streckung auf das gewünschte Maß gebracht werden. Die Walzen können sehr verschiedenartig ausgebildet sein (zur Herstellung von Blechen z. B. sind sie glatt). Die zur Blechherstellung verwendeten Brammen (in kleineren Abmessungen heißen sie auch Platinen) werden breitgewalzt. Natürlich kann man aus einer großen Bramme nicht durch einmaliges Walzen ein Blech von 2 mm Dicke herstellen. Dazu werden mehrere hintereinandergeschaltete Arbeitsgänge benötigt, d. h., man muß entweder das Werkstück immer wieder durch die gleichen Walzen schicken, deren Abstand voneinander dann jedesmal geändert wird, oder man baut sehr viele solcher Walzenpaare hintereinander und erhält dann eine Walzenstraße. Dabei wird ein langes Werkstück auch gleichzeitig von zwei oder drei Walzenpaaren bearbeitet. Für die Herstellung von Profileisen werden die Blöcke, nachdem sie vorgewalzt sind, von Kalibrierwalzen bearbeitet (Abb. 2a–2c). Bei ihnen läßt die Form der Ober- und Unterwalze schon das Profil des zu walzenden Stückes erkennen. L-, I-, V-Eisen und andere Profile (Abb. 3) werden auf diese Weise hergestellt.

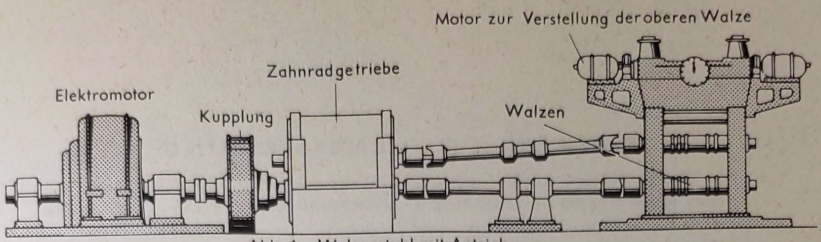
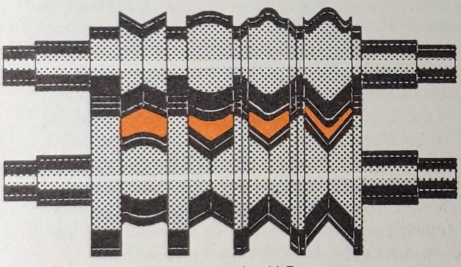


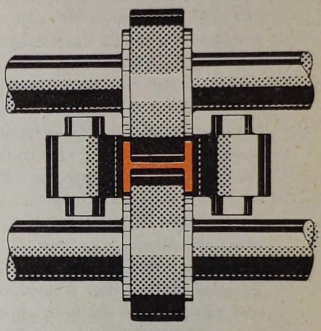
Abb. 1 Walzenstuhl mit Antrieb

a Walzen für T-Eisen

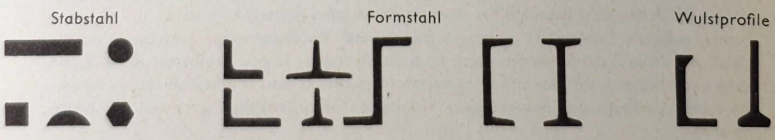


b Walzen für V-Eisen

Abb. 2 Kalibrierwalzen



c Walzen für I-Eisen



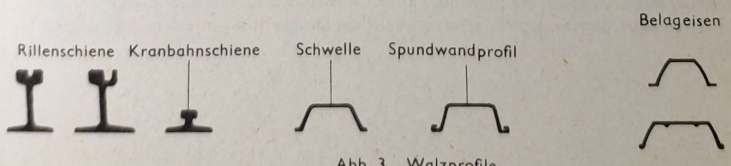


Abb. 3 Walzprofile

WALZWERK II (ROHRHERSTELLUNG)

In der Technik werden sowohl „geschweißte" wie „nahtlose" Rohre verwandt. Geschweißte Rohre werden aus Stahlbändern unterschiedlicher Breite oder Dicke, nahtlose Rohre aus gegossenen oder gewalzten Rundblöcken bei Walztemperatur hergestellt. Für beide Herstellungsarten werden je nach Durchmesser und Wandstärke eine Vielzahl von Verfahren angewandt.

Das älteste kontinuierliche Rohrschweißverfahren ist das *Fretz-Moon-Verfahren*, ein „Feuerschweißverfahren". Hierbei wird ein endloses Stahlband (die einzelnen zu Bunden aufgerollten Bandstücke werden aneinandergeschweißt) durch einen Ofen geführt, dabei auf ca. 1400°C erhitzt und im Anschluß hieran zwischen Biegewalzen zu einem Rohr („Schlitzrohr"; Abb. 1) gebogen; schließlich werden zwischen den Schweißwalzen die Bandkanten so fest aufeinandergepreßt, daß sie miteinander verschweißen. Bei den anderen Rohrschweißverfahren bleibt das Band kalt, nur die Längskanten werden auf Schweißtemperatur erhitzt. In jedem Falle wird zunächst ein „Schlitzrohr" geformt. Es werden sowohl das elektrische *Lichtbogenschweißverfahren* (Ellira, Unterpulverschweißen; vgl. S. 292) wie das *Induktions-* und das *Widerstandsschweißverfahren* angewandt. Bei den beiden letzten Verfahren wird die elektrische Induktion bzw. der Widerstand zur Erhitzung der Nahtkanten benutzt. Eine Sonderstellung nimmt das *Spiralrohrverfahren* ein, bei dem keine Längsschweißnaht ausgeführt, sondern das Band spiralförmig gewickelt wird, so daß praktisch eine endlose spiralförmige Schweißnaht entsteht.

Beim ältesten Verfahren zur Herstellung nahtloser Rohre, dem *Schrägwalz-Pilgerschritt-Verfahren*, wird ein Rundblock zwischen zwei schräg zueinanderstehende ballige Walzen gestoßen (Abb. 2). Beide Schrägwalzen sind im gleichen Drehsinne angetrieben, wodurch eine Friemelbewegung entsteht, die zur Folge hat, daß der Kern des Blockes aufreißt.

Durch die Öffnung wird ein Dorn zum Glätten und Aufweiten gestoßen. Die so entstandene dickwandige Rohrluppe wird auf dem *Pilgerschrittwalzwerk* gestreckt (Abb. 3), und zwar so, daß die Rohrluppe auf einem Dorn durch ein Walzenpaar gestoßen wird, dessen Kaliberöffnung je nach Stellung der Walzen verschieden groß ist. Wie die Abb. zeigt, „beißt" das enge Kaliber einen Teil der Rohrluppe ab und streckt ihn über dem Dorn aus, der dabei zurückläuft. Nach einer halben Umdrehung öffnet sich das Kaliber wieder und der Dorn wird wieder vorgeschoben. Diese Hin- und Herbewegung (Pilgerschritt) wiederholt sich so lange, bis die ganze Luppe das Walzenpaar passiert hat.

Beim *Stiefel-* oder *Stopfenwalzverfahren* wird ein Rundblock zunächst ebenfalls auf einem Schrägwalzwerk gelocht. Die Luppe wird dann auf einem Duo-(Zweiwalzen-)Walzgerüst mit gleichbleibendem Rundkaliber über einem Stopfen gestreckt (Abb. 4).

Beim *Stoßbank-(Ehrhardt-)Verfahren* wird ein auf Walztemperatur erhitzter Vierkantblock auf einer Lochpresse zu einer fingerhutförmigen Luppe verformt. Diese Luppe wird anschließend auf einem Schrägwalzwerk gestreckt und schließlich durch mehrere hintereinanderliegende, immer enger werdende Vierrollenkäfige gestoßen (Stoßbank, Abb. 5).

Das modernste Verfahren schließlich ist das *Strangpreßverfahren*, bei dem ein Stahlrohr dadurch erzeugt wird, daß ein glühender kurzer Rundblock zusammen mit einem Lochdorn durch eine Matrize gepreßt wird; so wird ein fertiges Rohr in einem Arbeitsgang erzeugt.

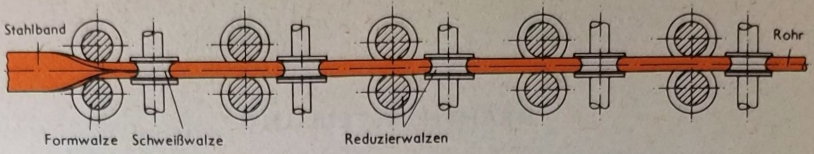
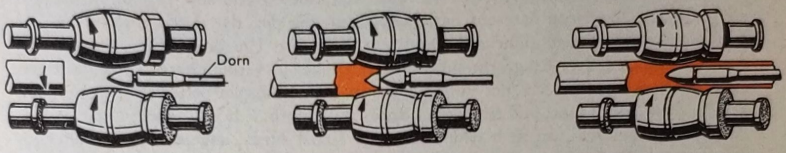


Abb. 1 Fretz-Moon-Verfahren zur Herstellung geschweißter Rohre

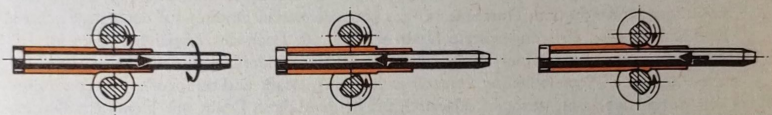


a) Rundblock zwischen Walzen geführt

b) Aufreißen des Rundblockes

c) Einführen des Lochdornes

Abb. 2 Schrägwalzen zur Herstellung nahtloser Rohre

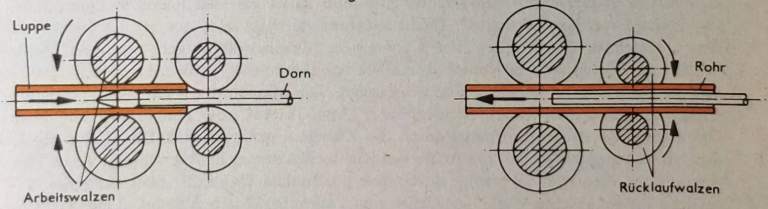


a) Vorschub der Luppe zwischen die Pilgerwalzen

b) Walzen ergreifen einen Teil der Luppe

c) Ausstrecken der Luppe über den Dorn, dann neuer Vorschub

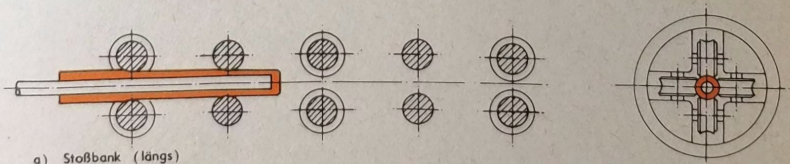
Abb. 3 Pilgerschrittverfahren



a) Luppe im Duo über Dorn gestreckt

b) Zurücknehmen des fertigen Rohres

Abb. 4 Stopfenwalzverfahren



a) Stoßbank (längs)

b) Walzen im Rollenkäfig (quer)

Abb. 5 Stoßbankverfahren

DRAHTHERSTELLUNG

Die Vorbehandlung des zur Herstellung von Draht verwendeten Materials erfolgt im Walzwerk (s. S. 416). Hier werden glühende Walzblöcke mit quadratischem Querschnitt von rd. 7 cm Kantenlänge (sog. Knüppel) solange ausgewalzt, bis sie zu runden Drähten von etwa 5 mm Durchmesser gestreckt sind. Wenn diese Rohdrähte abgekühlt sind, hat sich auf der Oberfläche der sehr harte Glühspan gebildet, der durch Einwirkung des Luftsauerstoffs auf den glühenden Stahl entstanden ist. Um diesen Glühspan zu entfernen, werden die in Ringform aufgespulten Drähte in verdünnter Schwefelsäure gebeizt und anschließend auf der Polterbank von dem Glühspan befreit. Die Polterbank (Abb. 1) ist eine Wippe, auf deren einer Seite die Drahtringe liegen, während die andere Seite durch ein Rad, an dem daumenförmige Hebel sitzen, angehoben und fallengelassen wird. Dadurch werden die Drahtringe jedesmal heftig aufgeschlagen, und der Glühspan fällt ab. Durch anschließendes Tauchen in Kalkwasser wird die restliche Schwefelsäure entfernt. Das eigentliche Ziehen wird nicht mehr am warmen, sondern am kalten Draht vorgenommen. Hierzu wird das Zieheisen (Abb. 3 a) verwendet, eine Stahlplatte mit einer Anzahl von Ziehlöchern verschiedener Größe. Diese Ziehlöcher verjüngen sich von dem Durchmesser des einzuziehenden Drahtes auf den gewünschten Enddurchmesser. Der angespitzte Draht wird in ein Loch des Zieheisens gesteckt, auf der anderen Seite von einer Zange, deren Greif- und Haltewirkung sich mit vergrößertem Zug durch Servowirkung von selbst verstärkt, erfaßt und mit großer Geschwindigkeit durch das Loch gezogen. Dadurch erhält man einen Draht mit kleinerem Durchmesser und größerer Länge. Damit der Draht nicht im Loch steckenbleibt, muß er vor Eintritt gut geschmiert werden. Durch viele solche hintereinandergeschaltete Zieheisen kann man den Draht stufenweise auf jeden gewünschten Durchmesser bringen (Abb. 3 b). Der Ausgangsquerschnitt des Drahtes (d_1) muß dabei auf den kleinsten Querschnitt (d_2) verengt werden, da sich der Draht aufgrund der Elastizität des Stahles wieder auf den Querschnitt d_3 aufweitet. Bei Kupfer oder Messingdrähten geht man von Blechstreifen aus, deren scharfe Kanten durch Walzen abgerundet werden. Die Streifen werden dann auch in Zieheisen weiter ausgezogen. Die Maschine, auf der diese Vorgänge vorgenommen werden, heißt Scheibenbank (Abb. 2). Auf einer Haspel sitzt der dicke Draht, der von der Ziehtrommel durch das Zieheisen gezogen wird. Das Zieheisen ist drehbar angebracht, so daß die Achse des Ziehloches immer in Zugrichtung zeigt. Der Antrieb der Ziehtrommel erfolgt durch eine horizontale Welle, die über ein Kegelradgetriebe die senkrechte Welle der Ziehtrommel antreibt. Durch Ausrücken einer Kupplung kann die Ziehtrommel vom Antrieb getrennt und dadurch angehalten werden. Von einer Antriebswelle können bis zu 20 Ziehtrommeln, die nebeneinander auf einem Tisch sitzen, angetrieben werden.

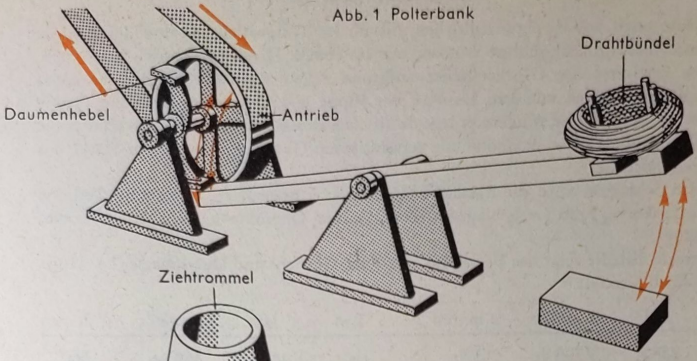


Abb. 1 Polterbank

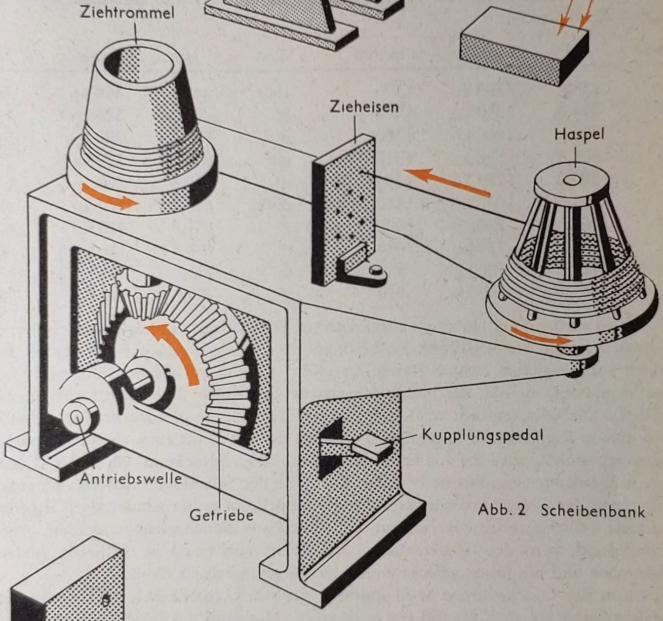


Abb. 2 Scheibenbank

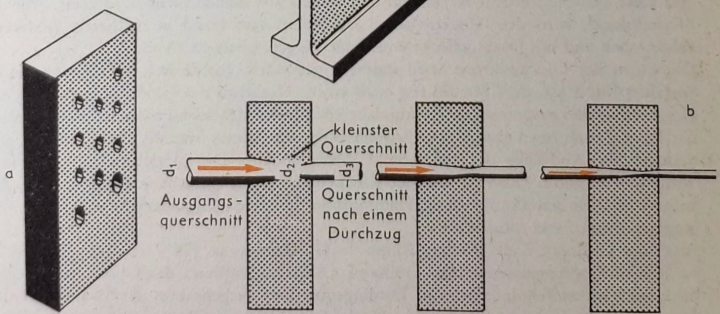


Abb. 3 Stufenweise Verminderung des Drahtquerschnittes im Zieheisen

GLOCKENGUSS

Auch heute noch werden Bronzeglocken, die in der Tonqualität jedem anderen guten Musikinstrument gleichkommen müssen, nur im reinen Handwerksbetrieb hergestellt. Zunächst bestimmt der Glockengießer aufgrund seiner theoretischen Berechnungen und empirischer Daten mit dem Entwurf der Rippe (Glockenprofil) nicht nur Größe und Gewicht der Glocke, sondern er legt damit auch deren Tonhöhe und Innenharmonie fest. Dabei ist die gleiche Tonhöhe mit verschiedenen Gewichten — je nach Stärke der Rippe — erreichbar.

Nach dem Schlagton wird die Tonhöhe einer Glocke bezeichnet. Geforderte Teiltöne sind: Unteroktave, Prim (= Schlagton), Terz, Quinte, Oberoktave, Dezime, Undezime, Duodezime.

Die folgende Tabelle zeigt das Verhältnis von Ton, Gewicht und Durchmesser (= Höhe einschließlich Krone):

Ton	Hz	Gewicht	⌀ in mm	Ton	Hz	Gewicht	⌀ in mm
c′	258,6	2700 kp	1570	ais′	460,7	400 kp	860
cis′	274,0	2250 kp	1480	h′	488,3	340 kp	810
d′	290,3	1800 kp	1390	c″	517,2	280 kp	760
dis′	307,6	1550 kp	1310	cis″	548,0	230 kp	720
e′	326,0	1220 kp	1230	d″	580,6	200 kp	670
f′	345,2	1050 kp	1160	dis″	615,2	160 kp	630
fis′	365,8	850 kp	1090	e″	651,8	130 kp	600
g′	387,5	710 kp	1030	f″	690,4	110 kp	560
gis′	411,0	600 kp	970	fis″	731,6	95 kp	530
a′	435,0	500 kp	910	g″	775,0	75 kp	500

Die Rippe wird auf ein Holzbrett aufgezeichnet. Dieses dient, senkrecht um eine Spindel drehbar befestigt, als Schablone. Sie bestimmt als Lehre die äußere Form des aus Backsteinen aufgemauerten hohlen Kerns. Der Kern wird durch die Schablone mit Lehm glatt abgedreht, so daß der innere Kurvenzug der Rippe exakt abgeformt erscheint (Abb. 1). Die Glockenform wird von innen mit Holzfeuer getrocknet. Die Schablone wird nun in Rippenstärke ausgesägt. Nachdem der Kern mit einer dünnen Fettschicht überzogen wurde, wird die aus Lehm bestehende Modellglocke in Stärke der Glockenrippe aufgetragen (sog. falsche Glocke). Mit Hilfe der Schablone, die jetzt den äußeren Kurvenzug der Glocke vorschreibt, wird die Modellglocke mit Rindertalg glattgedreht. Auf diese Schicht werden Buchstaben und Reliefs aus Bienenwachs modelliert. Auf die Modellglocke wird der Glockenmantel aus Lehm von Hand in mehreren Schichten aufgetragen und mit Drahtgeflecht und Hanfeinlagen verstärkt (Abb. 2).

Die Form der Glockenkrone wird indessen gesondert vorbereitet (Wachsausschmelzverfahren) und mit dem Mantel fest verbunden. Nachdem die Glockenform durch ein Holzkohlenfeuer ausgetrocknet ist und dabei die Rindertalgschichten verdampft sind, wird der Mantel nach oben abgezogen. Auf der Innenseite dieses Mantels erscheinen spiegelverkehrt die Abdrücke der aufgesetzen Wachsmodelle. Die Modellglocke wird nun vom Kern entfernt (Abb. 3) und der Glockenmantel maßgerecht auf den Kern wieder aufgesetzt. Vor dem Guß wird die Dammgrube, in der die Glockenform steht, fest mit eingestampfter Erde gefüllt.

Aus dem Gießofen fließt in einer Rinne die Glockenbronze (78% Kupfer, 22% Zinn, ca. 1050° C Gußtemperatur) zum Gußkopf (Abb. 4). Während des Gusses entweichen die Gase aus den Windpfeifen. Die Dammgrube wird ausgegraben, der Mantel und der gemauerte Kern werden von der Glocke abgeschlagen. Die Glocke wird schließlich mit Sand gescheuert.

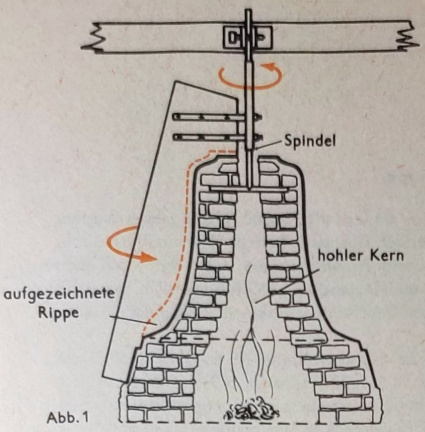


Abb. 1

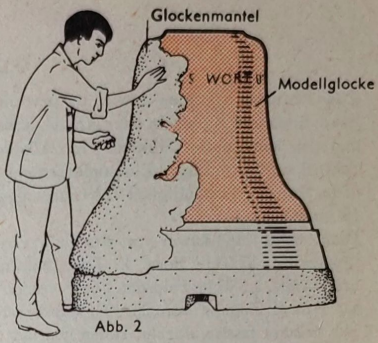


Abb. 2

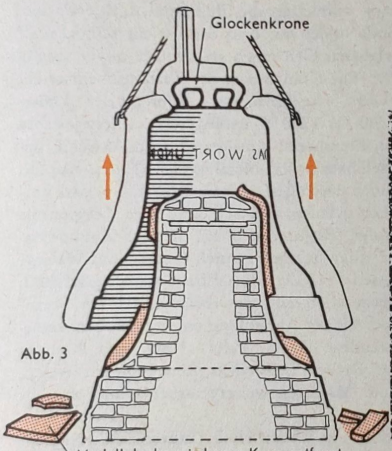


Abb. 3

Modellglocke wird vom Kern entfernt

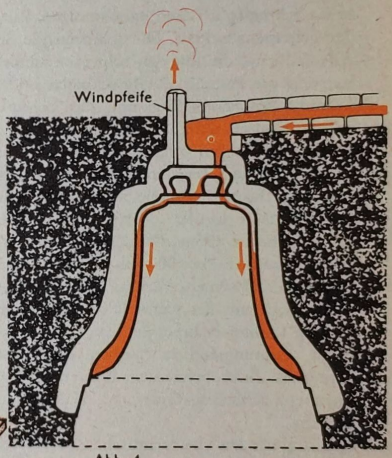


Abb. 4

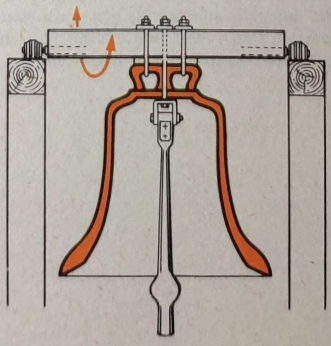


Abb. 5

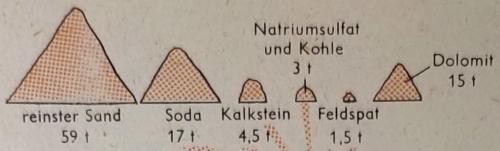
Glocke im Glockenstuhl

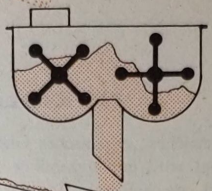
GLAS

Auch heute noch werden — wie im Altertum — als Grundrohstoffe für die Glaserzeugung Sand, Soda und Kalkstein oder Kreide verwendet. Chemisch besteht Glas aus Verbindungen der Kieselsäure (Silikaten) mit Alkali- und Erdalkalioxiden. Glas darf nach dem Schmelzen bei richtiger Zusammensetzung und Behandlung (Kühlung) nicht kristallin erstarren. Die Beständigkeit des Glases gegen Feuchtigkeit sinkt mit steigendem Alkali-(Soda-)Gehalt.

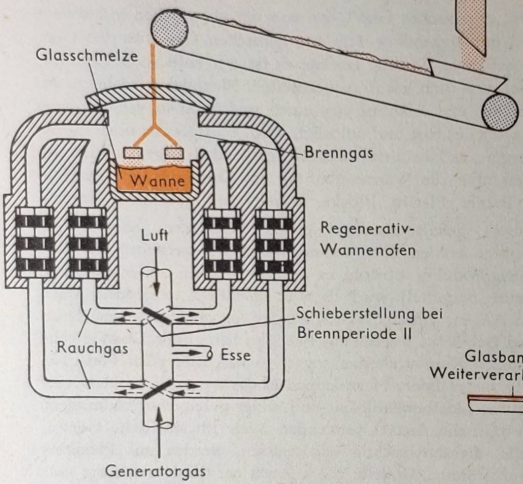
Eines unter Hunderten von Rezepten für die Glasherstellung ist folgendes: 59 Teile Quarzsand, 17 Teile Soda, 15 Teile Dolomit, 4,5 Teile Kalkstein, 3 Teile Natriumsulfat und Kohle, 1,5 Teile Feldspat. Diese werden innig vermischt. Das so hergestellte Gemenge wird nach Zugabe von 20–30% Glasbruch (Scherben) in Wannenöfen, die bis 1500 t Schmelzgut fassen, oder in Hafenöfen mit topfartigen, runden Gefäßen (Häfen), die bis zu 2 t Schmelzgut fassen, geschmolzen. Zuerst schmelzen die Flußmittel, z. B. Soda und der Scherbenzuschlag. Die schmelzende Soda bildet mit dem Sand leicht schmelzende Alkalisilikate, die mit den schwerer schmelzbaren Gemengebestandteilen weiter reagieren und die endgültige Glasschmelze bilden. Die Kohlensäure der Karbonate entweicht während des Schmelzens und zum Schluß des Schmelzprozesses während der „Läuterung". Danach wird die Temperatur auf 900 bis 1200 °C herabgesetzt. Unerwünschte Färbungen werden u. a. durch Zusätze von Braunstein, Antimonoxid und Arsenik beseitigt; farbige Gläser entstehen durch Zuschmelzen von Metalloxiden (Eisen, Kupfer, Mangan, Chrom u. a.). Die Schmelzöfen werden durch Gas oder Öl beheizt. Gas und Verbrennungsluft werden durch Wärmetauscher geleitet; dadurch wird ihre Temperatur erhöht, ehe im Ofen die Verbrennung erfolgt (Regenerativöfen). Je nach Zusammensetzung wird die bei 900 bis 1200 °C dickflüssige Schmelze durch Gießen und Walzen, Ziehen und Formen, Blasen, Spinnen, Pressen mit oder ohne Blasen meist maschinell, selten noch mit der Hand und mit der Glasmacherpfeife, verarbeitet. Nach der Formgebung kommt es besonders auf die richtige Art der Abkühlung an, um das Glas möglichst spannungsfrei zu machen. Das entstandene Flach-, Tafel-, Hohl- und Preßglas kann u. a. durch Schneiden, Bohren, Fräsen, Kleben, Schweißen, Löten, Biegen, Ätzen, Spannen, Schleifen, Gravieren, Polieren und Mattieren weiterverarbeitet und veredelt werden.

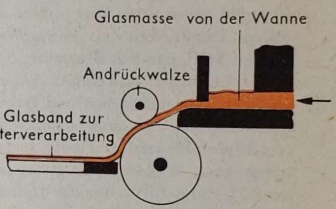
Spezialgläser für die technische Industrie und die Wissenschaft (Filtergläser, schmiedbare Gläser, feuerfeste Gläser, chemikalienfeste Gläser u. a.) werden durch Zuschläge zum Normalrezept oder aus ganz anderen als den genannten Rohstoffen erschmolzen. Sie werden meist in kleineren Häfen (einzelne, teils geschlossene Gefäße aus Aluminiumoxid oder anderen hochfeuerfesten Rohstoffen) hergestellt.





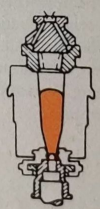
im Gemenghaus
innig mischen





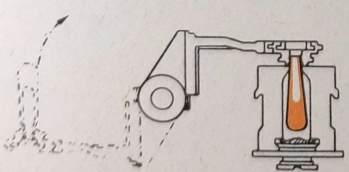
Maschinelle Herstellung
einer Flasche

Tropfenfall in Vorform



niederblasen

vorblasen



Übergabe von Vorform in Fertigform

anwärmen

fertigblasen

PLEXIGLAS ®

Plexiglas ist ein synthetisches „organisches Glas", das von der chemischen Industrie in großen Mengen erzeugt wird und gegenüber dem anorganischen Glas aus den Glashütten (s. S. 424) zwei entscheidende Vorteile besitzt: es ist nur halb so schwer (bei gleichem Volumen) und außerordentlich leicht zu bearbeiten. Plexiglas wird heute aus Aceton, Blausäure, Schwefelsäure und Alkohol gewonnen und kann in verschiedener Weise polymerisiert werden, wobei es hart und unlöslich wird. Plexiglas ist noch durchsichtiger als normales Fensterglas, es läßt ultraviolettes Licht und Röntgenstrahlen ungehindert durchtreten, hindert aber die Wärmestrahlung am Durchtritt. Es kann in beliebigen Formen (Lösung, Pulver, Platten, Blöcke, Rohre usw.) gewonnen werden.

Plexiglas kann gebohrt, gedreht, gefeilt, gegossen, gesägt, geschliffen, gestanzt, geschweißt, geschnitten und poliert werden. Eine weitere wichtige Eigenschaft ist seine völlige Ungiftigkeit (als Fertigprodukt), obwohl es u. a. aus einem außerordentlich giftigen Stoff, nämlich Blausäure, hergestellt wird. Es wird deshalb in steigendem Maße in der Chirurgie verwendet: Augen, Ohren, Nasen, Finger, ganze Hand- und Beinprothesen, Ersatzknochen und Gebißteile werden aus Plexiglas hergestellt. Das Gewebe verwächst mit den eingepflanzten Kunststoffteilen sogar, so daß man auch Plexiglasventile anstelle zerstörter oder ausgefallener Herzklappen in das menschliche Herz einsetzen kann. Wegen seiner guten Lichtbeständigkeit und seiner guten Durchsichtigkeit wird Plexiglas für zahlreiche optische Artikel verwendet. Viele physikalische Geräte, Meßinstrumente und Modelle, die durchsichtig sein müssen, werden aus Plexiglas hergestellt (Schutzbrillen, Leuchtröhren, Modelle u. a.). Auch bei der Herstellung von Musikinstrumenten, Schmuckgegenständen und Spielsachen wird Plexiglas verwendet, ganz abgesehen von seiner Bedeutung bei der Flugzeug- und Autoproduktion und seiner Verwendung als Baumaterial. Plexiglas ist wärmebeständig bis über 100 °C, beständig gegen Wasser, Laugen, verdünnte Säuren, Benzin, Mineralöl; es quillt jedoch in Alkoholen, Estern, Ketonen, Benzol (Aromaten) und Chlorkohlenwasserstoffen. Plexiglas ist bei großer Hitze brennbar.

Herstellungsgang:
Aceton
Blausäure (Gift)
Schwefelsäure
Alkohol
$CH_3CO CH_3$
HCN
H_2SO_4
ROH
Chemikalien
chemische Reaktion
Reinigung
Polymerisation
Verarbeitung
Verformung
Veredelung
Produkt
Hitze
Reinmethacrylat
$[CH_2 = C(CH_3)-COOR]$
Hitze, Zeit
Polymerisation
Dünger
(Abfallprodukt oder Nebenprodukt)
$(NH_4)_2SO_4 + H_2O$
$[CH_2-C(CH_3)-COOR]_n$
medizinische Artikel
Schmuck
organisches Glas (Plexiglas)
technische Artikel

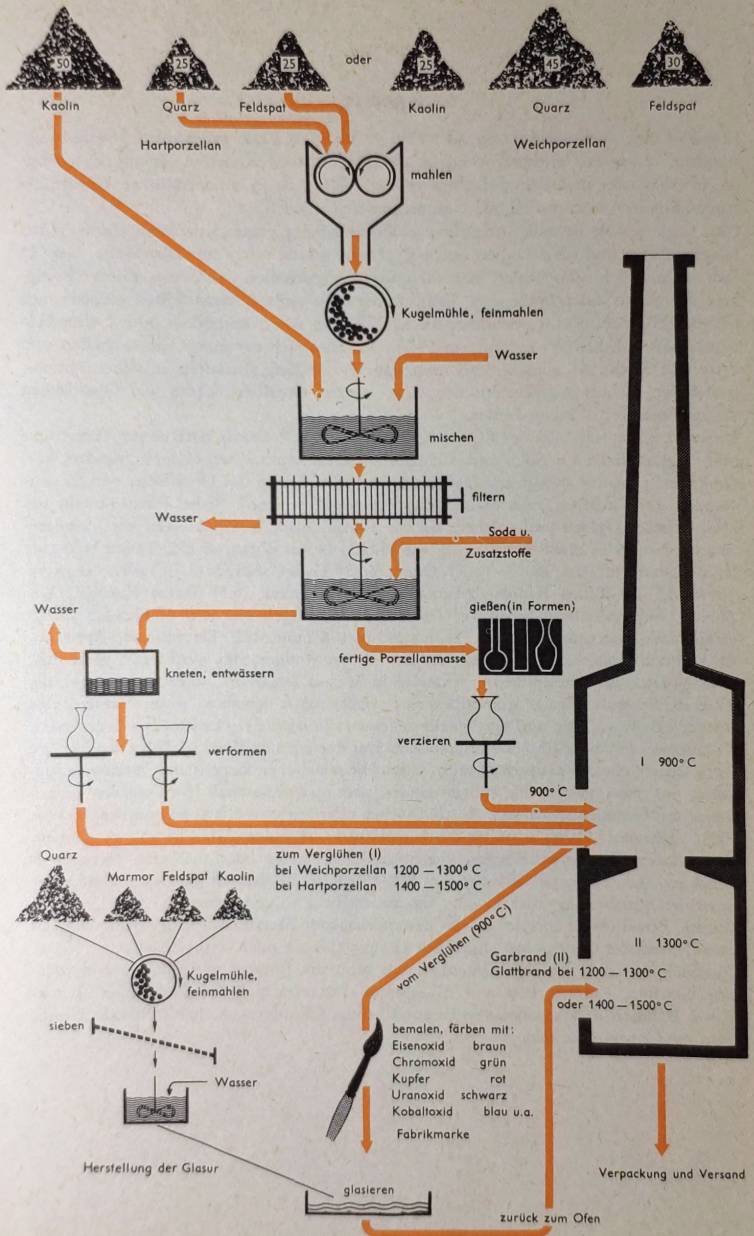
PORZELLAN

Porzellan ist ein durchscheinender, porenfreier keramischer Werkstoff. Er wird aus einem Gemisch von Kaolin, Quarz und Feldspat gebrannt. Hartporzellane werden meist aus 50% Kaolinit und je 25% Quarz und Feldspat hergestellt; für Weichporzellan verwendet man 25% Kaolinit, 45% Quarz und 30% Feldspat. Weichporzellan wird gegenüber dem Hartporzellan bei niedrigeren Temperaturen gebrannt und ist deshalb in der Herstellung billiger.

Herstellungsgang:

Das Tonmineral Kaolinit wird durch Kaolin in die Masse eingeführt. Kaolin wird geschlämmt, gesiebt und mit feingemahlenem Quarz und Feldspat unter Zusatz von Wasser gründlich gemischt. Soda und andere Zusatzstoffe werden beigemengt. Die bildsame Porzellanmasse wird geknetet und geformt oder in Gipsformen gegossen; sie wird nach dem Trocknen im Porzellanofen zunächst bei 900°C gebrannt. Beim Glasieren werden die vorgebrannten Gegenstände durch eine feine wäßrige Aufschwemmung der Glasurbestandteile (Quarz, Marmor, Feldspat, Kaolin) gezogen; das poröse Rohporzellan saugt Wasser auf, wobei sich eine dünne Schicht des Glasurpulvers auf die Porzellanoberfläche ablagert. Beim Brennen der Gegenstände im Glatt- oder Garbrand (bei 1400°C) schließt sich die Glasur zu einem glänzenden, gut haftenden Überzug zusammen, wobei an den Grenzschichten zwischen Glasur und Masse Verschmelzungen stattfinden. Die feinen Rohstoffteilchen der Porzellanmasse selbst sintern während der zweiten Brennperiode weitgehend zusammen. Unter oder auf der Glasur können farbige Verzierungen eingebrannt werden; als Farben verwendet man Metalloxide.

Porzellan wird im Haushalt, im Laboratorium, in der Industrie und besonders als Isolierstoff in der Elektrotechnik vielfältig verwendet; es ist undurchlässig für Flüssigkeiten und Gase und gegen Temperaturschwankungen weitgehend unempfindlich.


50
25
25
oder
25
45
30
Kaolin
Quarz
Feldspat
Kaolin
Quarz
Feldspat
Hartporzellan
Weichporzellan
mahlen
Kugelmühle, feinmahlen
Wasser
mischen
filtern
Wasser
Soda u.
Zusatzstoffe
Wasser
gießen(in Formen)
fertige Porzellanmasse
kneten, entwässern
verformen
verzieren
I 900° C
900° C
Quarz
Marmor Feldspat Kaolin
zum Verglühen (I)
bei Weichporzellan 1200 — 1300° C
bei Hartporzellan 1400 — 1500° C
vom Verglühen (900° C)
II 1300° C
Garbrand (II)
Glattbrand bei 1200 — 1300° C
oder 1400 — 1500° C
Kugelmühle, feinmahlen
sieben
Wasser
bemalen, färben mit:
Eisenoxid braun
Chromoxid grün
Kupfer rot
Uranoxid schwarz
Kobaltoxid blau u.a.
Fabrikmarke
Herstellung der Glasur
glasieren
Verpackung und Versand
zurück zum Ofen

EMAIL

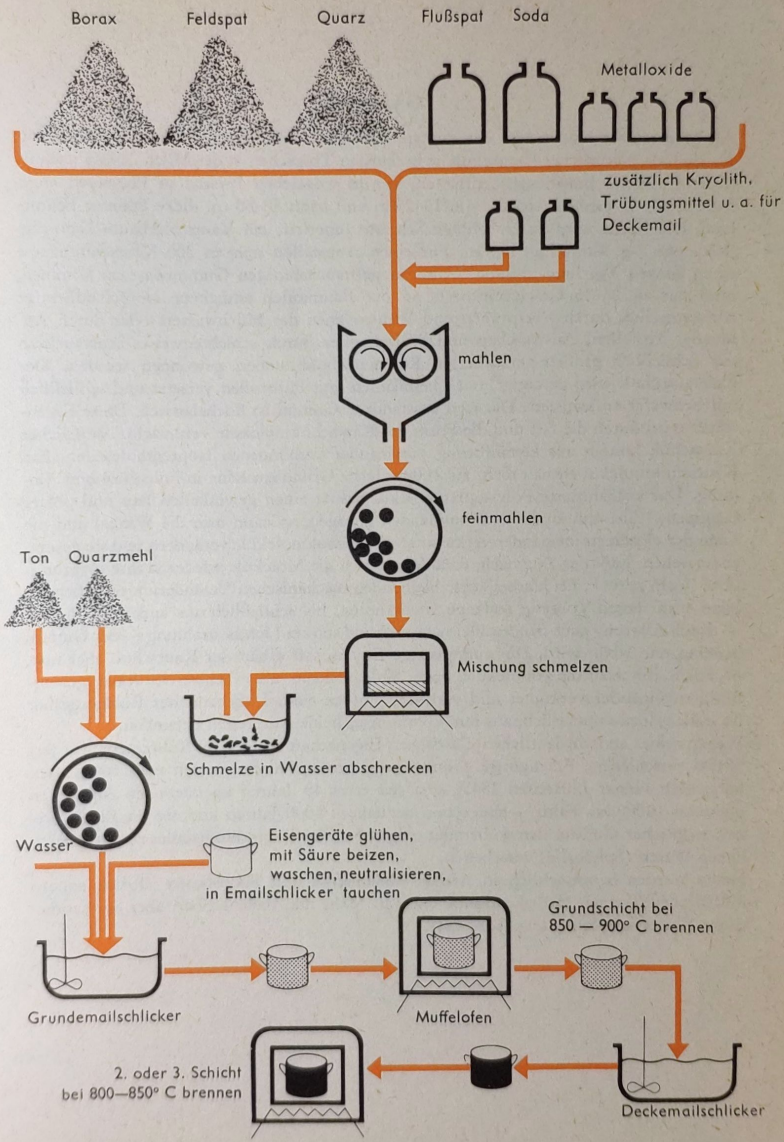
Email ist eine durch Schmelzen oder Fritten (nicht zu Ende geführtes Schmelzen) entstandene Masse mit anorganischer, in der Hauptsache oxidischer Zusammensetzung, die in einer oder mehreren Schichten teils mit Zuschlägen auf metallische Werkstücke aufgeschmolzen werden soll oder aufgeschmolzen worden ist.

Glas (vgl. S. 424) ist außerordentlich widerstandsfähig gegen Korrosion durch Witterungseinflüsse und Chemikalien und besitzt eine glatte, sehr feste Oberfläche. Glas ist aber zerbrechlich. Kombiniert man die guten Eigenschaften des Glases mit der Festigkeit des Stahls oder Gußeisens, dann werden die daraus hergestellten Gegenstände (Töpfe, Wannen, Rohre, Schilder, Becken, Bleche usw.) besonders gute Gebrauchseigenschaften haben. In besonderen Fällen addieren sich die guten Eigenschaften von Glas und Metall so günstig, daß neuartige Werkstoffeigenschaften entstehen: Strahltriebwerke, Schiffsmotorinnenflächen u. a. werden emailliert, damit die Oberflächen hochtemperaturbeständig werden.

Email ist schon seit 1400 vor Christi bekannt. Heute wie damals wird es zur Verzierung von Gegenständen aus Edel- und Nichteisenmetallen benutzt, seit einigen hundert Jahren braucht man es aber in der Hauptsache zur Veredelung der Oberfläche von Gegenständen aus Gußeisen und Stahl (Schutz gegen Korrosion). Jedes Email besteht aus glasbildenden Oxiden und solchen, die die Haftfähigkeit bewirken oder die Farbe erzeugen. Normales Email besteht z. B. aus 34 (23) Teilen Borax, 28 (52) Teilen Feldspat, 5 (5) Teilen Flußspat, 20 (5) Teilen Quarz, 6 (5) Teilen Soda, 5 (2,5) Teilen Natriumnitrat, 0,5–1,5 Teilen Kobalt-, Mangan- und Nickeloxid, (6,5) Teilen Kryolith. Die Zahlen ohne Klammern gelten für Grundemail, die eingeklammerten Zahlen für Deckemail, dem später noch 6–10% Trübungsmittel (Zinndioxid, Titansilicate, Antimontrioxid) und Farboxide beigemengt werden. Dieses Stoffgemenge wird feinst gemahlen, geschmolzen, die glühendheiße Schmelze in Wasser gegossen, abgeschreckt und die dabei entstehende körnige glasartige Fritte wieder feinst gemahlen. Beim Mahlen wird Wasser (35–40%), Ton und Quarzmehl zugesetzt; je nach Art des Emails werden noch Trübungsstoffe und Farboxide beigemischt. Der entstehende Emailschlicker muß einige Tage stehen, ehe er verwendet werden kann. Die metallenen Gegenstände werden ausgeglüht, mit Säure geätzt, mit Laugen neutralisiert und gewaschen. Nun werden sie zunächst mit Grundemailschlicker durch Tauchen oder Spritzen überzogen und bei 850 bis 900°C gebrannt. Dabei schmilzt die Emailschicht zu einem Glasüberzug zusammen. Nun werden die voremaillierten Gegenstände mit einer oder mehreren Deckemailschichten überzogen und jedesmal bei 800–850°C in Muffelöfen gebrannt. Einfachere Emaillierungen werden auch in einer einzigen Schicht vorgenommen.

Da jede Emailschicht spröder als das darunterliegende Metall ist, springt oder reißt das Email, wenn der Gegenstand unsachgemäß angeschlagen oder verformt wird.

Chemisch ist Email ein Schmelzgemisch aus Silicaten, Boraten und Fluoriden der Metalle Natrium, Kalium, Blei und Aluminium. Die verschiedenen Färbungen erreicht man z. B. durch Zuschmelzen von Eisen-, Chrom-, Cadmium-, Kobalt-, Nickel-, Gold-, Uran- und Antimonoxiden.

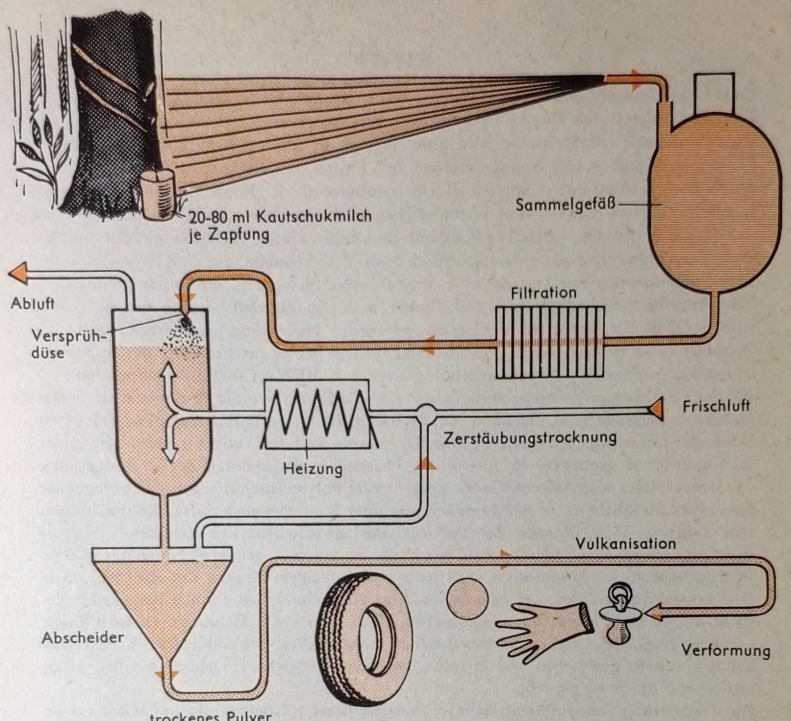

Borax
Feldspat
Quarz
Flußspat
Soda
Metalloxide
zusätzlich Kryolith, Trübungsmittel u. a. für Deckemail
mahlen
feinmahlen
Ton
Quarzmehl
Mischung schmelzen
Schmelze in Wasser abschrecken
Wasser
Eisengeräte glühen, mit Säure beizen, waschen, neutralisieren, in Emailschlicker tauchen
Grundschicht bei 850 — 900° C brennen
Grundemailschlicker
Muffelofen
2. oder 3. Schicht bei 800—850° C brennen
Deckemailschlicker

GUMMI

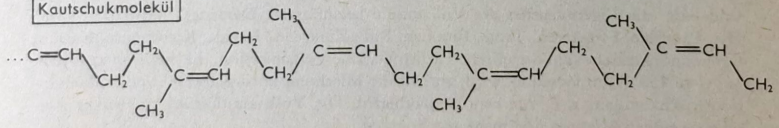
Als Gummi bezeichnet man das vulkanisierte (s. S. 436) Endprodukt aus natürlichem Kautschuk. Natürlicher Kautschuk ist in feinsten Tröpfchen in der Milch des Kautschukbaumes (Hevea brasiliensis) enthalten, der in tropischen Breiten in Plantagen angebaut wird; er erreicht Höhen von 10–20 m und kann 50–80 cm dicke Stämme bekommen. Die Rinde wird durch schräge Schnitte angeritzt; ein Kautschukbaum kann täglich etwa 7 g Kautschuk liefern. Für einen Autoreifen müssen 200 Kautschukbäume einen ganzen Tag lang „bluten". Um zur gebrauchsfertigen Gummiware zu kommen, muß der zu 25–35 Gewichtsprozent in der Baummilch enthaltene tröpfchenförmige Rohkautschuk durch Versprühen und Wegtrocknen des Milchwassers oder durch Ansäuern, Ausfällen, Auswaschen und Walzen oder durch schichtenweises Ausräuchern aus schließlich großen geräucherten Rohkautschukklumpen gewonnen werden. Der Rohkautschuk wird gereinigt, mit Chemikalien und Füllstoffen versetzt und schließlich mit Schwefel vulkanisiert. Der jetzt entstandene Gummi ist hochelastisch. Diese Eigenschaft wird durch die Art und die Form der Kautschukmoleküle verursacht. Natürlicher Kautschuk besteht aus kettenförmig miteinander verbundenen Isoprenmolekülen. Ein Kautschukmolekül enthält mehr als 2000 solcher Grundbausteine in linienförmiger Bindung. Das vulkanisierte Polyisoprenmolekül besitzt einen gewinkelten Bau und polare Gruppen. Wird nun an einem Gummifaden gezogen, so kann man die Winkel und die Lage der einzelnen ineinander verknäulten Kautschukmoleküle verändern und sie auseinanderziehen. Läßt der Zug nach, dann lagern sich die Moleküle wieder in ihre ursprüngliche Form zurück. Da hierbei keine bleibenden mechanischen Veränderungen auftreten, kann man diesen Vorgang so lange wiederholen, bis schließlich aus anderen Gründen — durch Alterung nach Sauerstoffeinwirkung und starker Lichtbestrahlung — der Gummi brüchig und rissig wird. Die gummiartige Eigenschaft erhält der Kautschuk aber erst, nachdem die Kautschukmoleküle beim Vulkanisieren über Schwefelbrücken geringfügig miteinander verknotet und verkettet worden sind. Unbehandelter Rohkautschuk ist stark wärmeempfindlich, aus ihm könnte man keine Autoreifen herstellen.

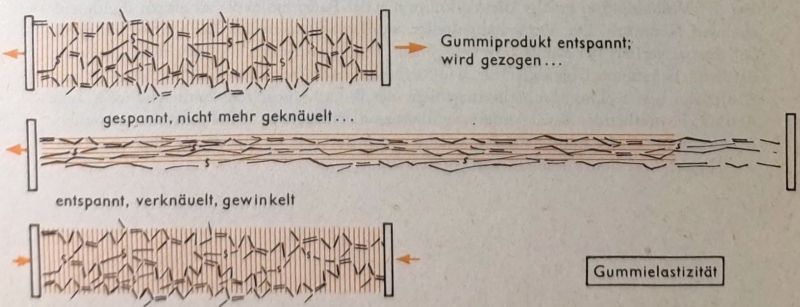
Wegen seiner außerordentlichen elastischen Eigenschaft ist Gummi Rohmaterial für fast 50000 verschiedene Erzeugnisse. Gummi wird großtechnisch erst seit etwa 100 Jahren hergestellt (erster Luftreifen 1845), erst seit etwa 40 Jahren übersteht ein Autoreifen mehr als 10000 km Fahrt — aber schon seit nahezu 1000 Jahren konnten die Eingeborenen tropischer Gebiete den wolfsmilchartigen Saft des Kautschukbaumes zu gummiähnlichen Waren (Spielbälle) verarbeiten.

Heute werden hauptsächlich in Afrika, Südamerika und Südostasien jährlich nahezu 2 Millionen Tonnen Naturkautschuk erzeugt. Mehr und mehr erobert aber der synthetische Kautschuk den Markt (s. S. 434).



Kautschukmolekül





Gummielastizität

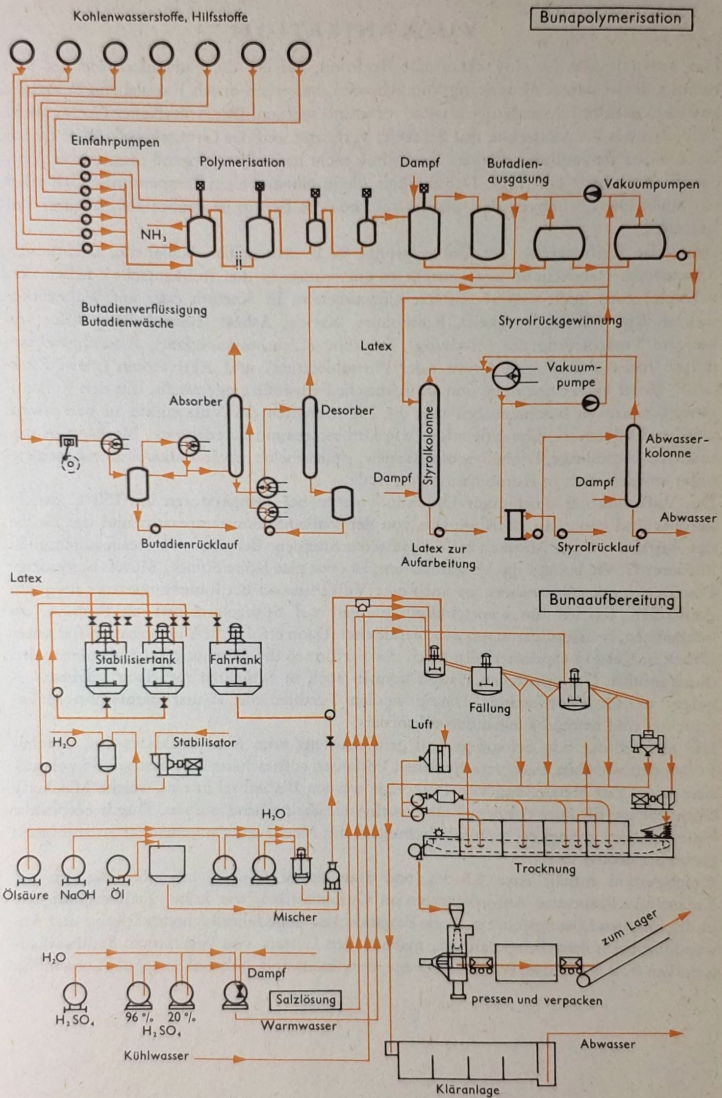
BUNA

Buna ist die deutsche Bezeichnung für Synthesekautschuk. Er hat seinen Namen von einem Kautschuk, der durch Blockpolymerisation von *Bu*tadien mittels *Na*trium als Katalysator hergestellt wurde. Heute wird überwiegend die Mischpolymerisation in wäßriger Phase von Butadien und Styrol durchgeführt. Durch das früher noch bei etwa + 50°C durchgeführte Verfahren entsteht Buchstabenbuna (z. B. Buna S = Butadien-*S*tyrol-Kautschuk). Neuere Aktivatoren ermöglichen auch eine Mischpolymerisation bei etwa + 5°C, die zu dem heute üblichen Kaltkautschuk führt. Durch Variation der Monomeren, ihrer Verschnittverhältnisse (hauptsächlich etwa 75% Butadien und 25% Styrol) und der Polymerisationsrezeptur entsteht eine Vielzahl von Bunatypen, die durch unterschiedliche Aufarbeitungsbedingungen und Zusätze, z. B. Öle (ölplastifizierter Kautschuk) oder Ruß + Öl (Rußmasterbatche) noch erweitert werden. Neuerdings polymerisiert man auch Butadien oder Isopren mittels Zieglerkatalysatoren zu einem Produkt, das in seinem sterischen Aufbau dem Naturkautschuk gleicht, z. B. BUNA CB (Poly-cis-Butadien).

Bei der Emulsionspolymerisation bei etwa + 5°C befinden sich die zu polymerisierenden Kohlenwasserstoffe (z. B. Butadien und Styrol) in Emulsion und enthalten in sich einen Bestandteil des Aktivatorsystems gelöst. Der zweite Teil des Aktivatorsystems ist in der wäßrigen Phase enthalten. Er löst an der Phasengrenzfläche durch Zerfall das gesamte Aktivatorsystem aus, wodurch die Startreaktion der Polymerisation beginnt. Eine regelnde Substanz ermöglicht es, in Abhängigkeit von ihrer Konzentration durch Kettenabbruch eine mittlere Molekülgröße des Polymerisates einzustellen. Die gebildeten Makromoleküle haben eine Fadenstruktur mit Verzweigungen, sogenannte Seitenketten. Die Polymerisation der Monomeren wird nach etwa 60%igem Umsatz unterbrochen. Aus dem entstandenen Latex, der einer natürlichen Kautschukmilch ähnlich ist, werden die nicht umgesetzten Monomeren abgetrieben. Nach Zusatz von Stabilisatoren wird durch Säure und Salz der Latex zum Festkautschuk aufgearbeitet. Die anfallenden Kautschukkrümel werden gewaschen und in mehreren Stufen getrocknet. Danach werden sie zu Ballen von rd. 30 kg gepreßt.

Zur Herstellung von Gummiartikeln werden dem Buna in Knetern oder auf Mischwalzen solche Zusätze beigemischt, die mitbestimmend für die Verarbeitbarkeit der Mischung sind bzw. die Eigenschaften der Vulkanisate beeinflussen. Derartige Substanzen sind: Öle, Paraffine, Fettsäuren, Teere, Bitumen, Ruß, Zinkoxid, Kreide, Kieselsäure, Kaolin, ferner anorganische und organische Farbstoffe. Zur Vulkanisation, die meist unter Druck bei etwa 150°C durchgeführt wird, enthält die Mischung noch Schwefel und Vulkanisationsbeschleuniger, z. B. Merkaptobenzothiazol. Die Vulkanisationszeit schwankt zwischen wenigen Minuten und mehreren Stunden.

Bei der Vulkanisation erfolgt die Verknüpfung der Fadenmoleküle zu einem dreidimensionalen Netzwerk. Die Vernetzungsstellen werden vorzugsweise durch Schwefel gebildet. Dabei verliert der Kautschuk weitgehend seine plastischen Eigenschaften. Er erhält dafür die bekannten Eigenschaften, wie Reversion nach Dehnung, Gummielastizität und Abriebsfestigkeit. Die Haupteinsatzgebiete des Buna: Autoreifen, zahlreiche technische Artikel, Förderbänder usw. Andere Synthesekautschuke, wie z. B. Perbunan (Butadien-Acrylsäurenitril-Mischpolymerisat), zeichnen sich durch hohe Quellbeständigkeit gegenüber Fetten und Benzinkohlenwasserstoffen aus.


Kohlenwasserstoffe, Hilfsstoffe
Bunapolymerisation
Einfahrpumpen
Polymerisation
Dampf
Butadien-
ausgasung
Vakuumpumpen
NH3
Butadienverflüssigung
Butadienwäsche
Styrolrückgewinnung
Latex
Vakuum-
pumpe
Absorber
Desorber
Styrolkolonne
Abwasser-
kolonne
Dampf
Dampf
Abwasser
Butadienrücklauf
Latex zur
Aufarbeitung
Styrolrücklauf
Latex
Bunaaufbereitung
Stabilisiertank
Fahrtank
Fällung
H2O
Stabilisator
Luft
H2O
Trocknung
Ölsäure
NaOH
Öl
Mischer
zum Lager
H2O
Dampf
Salzlösung
pressen und verpacken
H2SO4
96 %
H2SO4
20 %
Warmwasser
Abwasser
Kühlwasser
Kläranlage

VULKANISATION

Die Vulkanisation ist eine chemische Reaktion, bei der die Fadenmoleküle des Kautschuks, meist unter Mitwirkung von Schwefel, aber auch durch Einsatz von Peroxiden, zu einem dreidimensionalen Netzwerk verknüpft werden. Der Amerikaner Goodyear hat 1839 erstmals Rohkautschuk mit Schwefel verknetet und das Gemisch auf 130°C erhitzt. Nach dieser Behandlung war der Kautschuk nicht mehr überwiegend plastisch verformbar, sondern hatte eine hohe Dehnbarkeit, die in einem weiten Temperaturbereich erhalten blieb. Die Löslichkeit des rohen Kautschuks in Benzin ist größer als die eines Vulkanisates.

Das weite Einsatzgebiet der Gummiartikel (z. B. Autoreifen, Schläuche, Dichtungen, Schuhwerk, Handschuhe usw.) macht es notwendig, in den Rohkautschuk neben dem Schwefel auch noch weitere Zusätze einzuarbeiten. In Knetern oder auf Walzwerken werden Ruß (Abriebfestigkeit), Kieselsäure, Kreide, Asbest (Bremsbeläge), Öle (verbesserte Verarbeitung der Mischung), Paraffine (Lichtbeständigkeit), Alterungsschutzmittel (meist aromatische Amine oder Phenolderivate) und Aktivatoren (meist Zinkoxid), ferner auch organische und anorganische Farbstoffe eingemischt. Um den Vulkanisationsverlauf zu beschleunigen und die Eigenschaften der Vulkanisate zu verbessern, werden Vulkanisationsbeschleuniger wie Dithiocarbaminsäurederivate, Merkaptobenzothiazolabkömmlinge, Diphenylguanidin usw. eingearbeitet; diese Vulkanisationsbeschleuniger werden auch in Kombination eingesetzt.

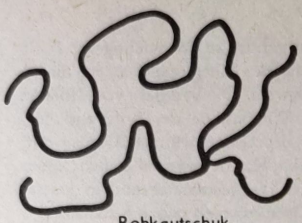
Die Vulkanisation wird unter Druck in Formen bei Temperaturen um 150°C durchgeführt und dauert in Abhängigkeit von der Vulkanisationstemperatur und der Größe des Artikels wenige Minuten bis zu mehreren Stunden. Bei einem Personenwagenreifen mittlerer Größe beträgt die Vulkanisationszeit etwa eine halbe Stunde. Mittels besonderer Beschleunigerkombinationen ist auch eine Vulkanisation bei Raumtemperatur möglich. Außerdem werden die Kautschukmischungen auf Spritzmaschinen zu Profilen, zu Schläuchen, Fensterdichtungen usw. verarbeitet. Dann erfolgt die Vulkanisation frei unter Druck in Kesseln (Spritzartikel). Auch das Verformen der Mischung auf Kalandern wird durchgeführt. Die erhaltenen Platten können auch in Schichten mehrfach aufeinandergelegt werden (Konfektion). Häufig werden Textilien mit Kautschukmischungen beschichtet und haftend aneinandervulkanisiert.

Die Herstellung von Schaumgummi geht meistens vom Kautschuklatex aus, der mit Füllstoffen versehen, nach verschiedenen Verfahren aufgeschäumt, verfestigt und vulkanisiert wird. Zur Herstellung von Porocrêpe werden Blähmittel in eine weiche Mischung eingearbeitet, die kurz vor dem Vulkanisationseinsatz treibend wirken. Durch besondere Haftverfahren gelingt es, Gummimischungen mit Metall innig miteinander zu verbinden (Schwingmetalle usw.).

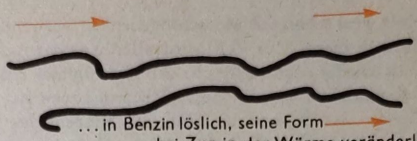
Weichgummi enthält etwa 1,5–5% und Hartgummi 15–30% Schwefel, bezogen auf Kautschuk. Besondere Anforderungen an Gummiartikel, wie hohe Quellbeständigkeit in organischen Lösungsmitteln, hohe Beständigkeit gegenüber Lichteinwirkung und Anwendung bei hohen Temperaturen, machen den Einsatz von bestimmten Synthesekautschuken (z. B. Perbunan, Polychloroprene, Butylkautschuk, Siliconkautschuk) notwendig.

Nicht vulkanisiert:

Zugrichtung

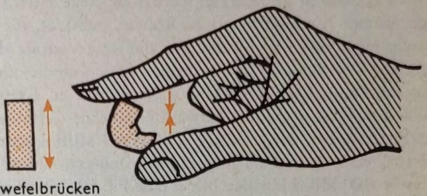


Rohkautschuk ...

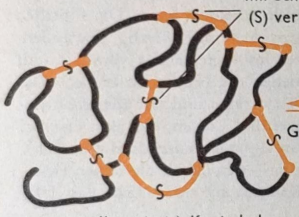


... in Benzin löslich, seine Form bei Zug in der Wärme veränderlich

Vulkanisiert:



mit Schwefelbrücken (S) vernetzen

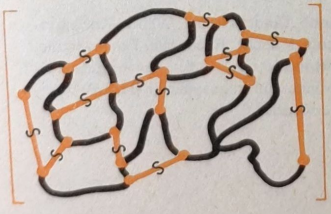


Zug

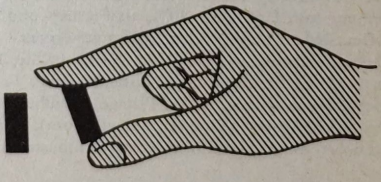
Gegenzug

Vulkanisierter Kautschuk (Gummi)...

... ist gummielastisch, in Benzin schwer löslich



Hartgummi (sehr viele Schwefelbrücken)...



... ist sehr schwer verformbar

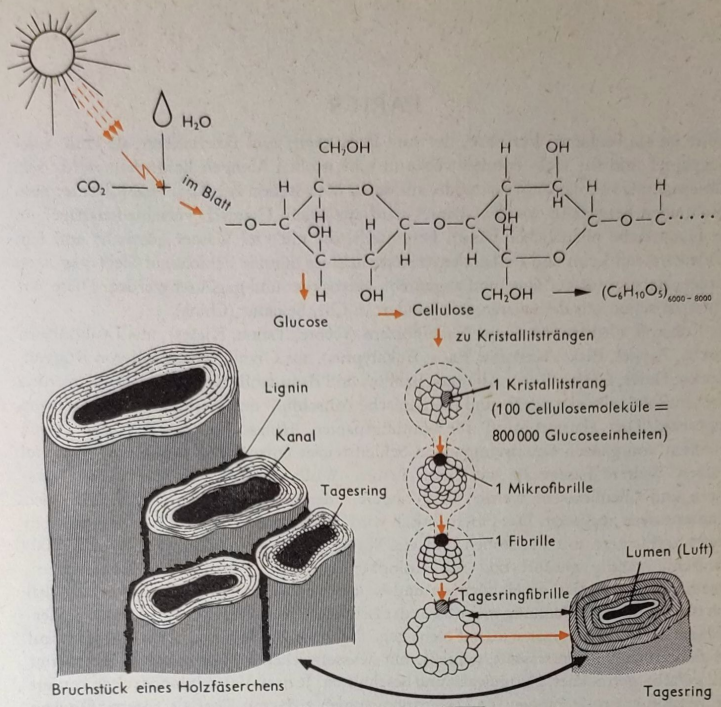
HOLZ

Holz wird schon seit Menschengedenken verwendet, es gehört zu den wichtigsten Welthandelsgütern. Zur Zeit wird allerdings das Achtfache der Menge geschlagen, die im Jahr wieder nachwächst, so daß Holz immer knapper wird. Die Synthese von Holz im Laboratorium ist unmöglich. Pflanzen bauen aus der Kohlensäure der Luft und dem Wasser des Bodens mit Hilfe des Sonnenlichts und der Sonnenwärme Glucose auf, von der sie einen Teil als Stärke aufbewahren, um eine Kraftreserve zu haben; einen anderen Teil wandeln sie in Cellulose um, die in Form langgestreckter und in kunstvollen Schichten gewickelter Zellen abgelagert wird. Dabei werden ganze Kabelstränge von wasser- und luftleitenden Röhren gebildet, die den Stofftransport in den Pflanzen ermöglichen, als Lagerräume für die Reservestoffe dienen und den Pflanzen die nötige Festigkeit verleihen. Die einzelnen Glucosemoleküle, die im Blatt oder in der Pflanzennadel aufgebaut werden, polymerisieren zu Kettenmolekülen mit etwa je 6000 bis 8000 Glucosebausteinen. Etwa 100 solcher Cellulosekettenmoleküle bauen einen Kristallitstrang auf, der etwa 6–8 millionstel Millimeter dick ist. 10 bis 100 Kristallitstränge vereinigen sich zu einer Mikrofibrille mit etwa 20–80 millionstel mm Dicke. Ein Bündel von 10–100 Mikrofibrillen bildet eine Fibrille, das kleinste Teilchen, das man beim feinen Zermahlen einer Holzfaser unter dem Mikroskop gerade erkennen kann. Die Fibrillen sind in sogenannten Tagesringen nebeneinander angeordnet und spiralig gewunden. Die einzelnen Fibrillen sind mit dem Lignin des Holzes fest miteinander verkittet und verklebt und von feinsten Röhrchen durchsetzt, in denen die Nährstoffe fließen. Die Tagesringe haben die Form von Hohlzylindern; viele Tagesringe sind fest übereinandergezogen, in ihrem Innern befindet sich das meist luftgefüllte Lumen, das man erst bei 2000facher Vergrößerung gut erkennen kann (es ist etwa 2–3 zehntausendstel mm dick). Mehrere solcher Fasern bilden — fest aneinander gekittet — schließlich die feinen Holzfäserchen mit einer Dicke von rd. 1/30 mm, die von Kanälen mit einer Dicke von 1/10 bis 10 millionstel mm Durchmesser durchzogen sind.

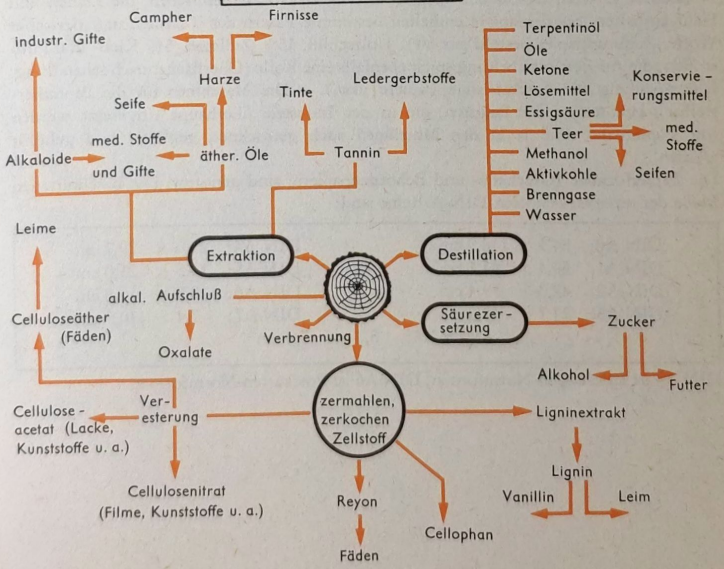
Frisches Holz enthält 40–60%, getrocknetes Holz 10–20% Wasser. Völlig wasserfreies Holz ist aus 40–50% Cellulose und 20–25% Lignin zusammengesetzt, die restlichen Anteile sind Mineralstoffe, Gerbstoffe, Fette, Öle, Harze, Kohlenhydrate und Hemicellulosen. Holz ist wegen seiner geringen Wärmeleitung, seiner großen Strahlungsdämpfung und wegen seiner Festigkeit bei geringem Gewicht ein außerordentlich wertvoller Werkstoff — man kennt mehr als 10000 Verwendungszwecke.

Zur Gewinnung von Zellstoff werden 50%, als Bau- und Nutzholz 30%, für die Gewinnung von Holzmasse 10%, als Furnier- und Sperrholz 3%, für Holzwaren 2% des in Deutschland eingeführten Holzes verwendet.

Man unterscheidet weiche Hölzer (Kiefer, Fichte, Tanne, Linde, Pappel, Weide, Roßkastanie u. a.) von harten Hölzern (Birne, Pflaume, Walnuß, Kirsche, Rotbuche, Edelkastanie, Ahorn, Ulme, Esche, Birke, Platane, Weißbuche, Robinie u. a.) und sehr harten Hölzern (Eiche, Eibe, Weißdorn, Schwarzdorn). Zahlreiche außereuropäische Hölzer werden neben diesen einheimischen Arten industriell verwendet.



Holz als chemischer Rohstoff



PAPIER

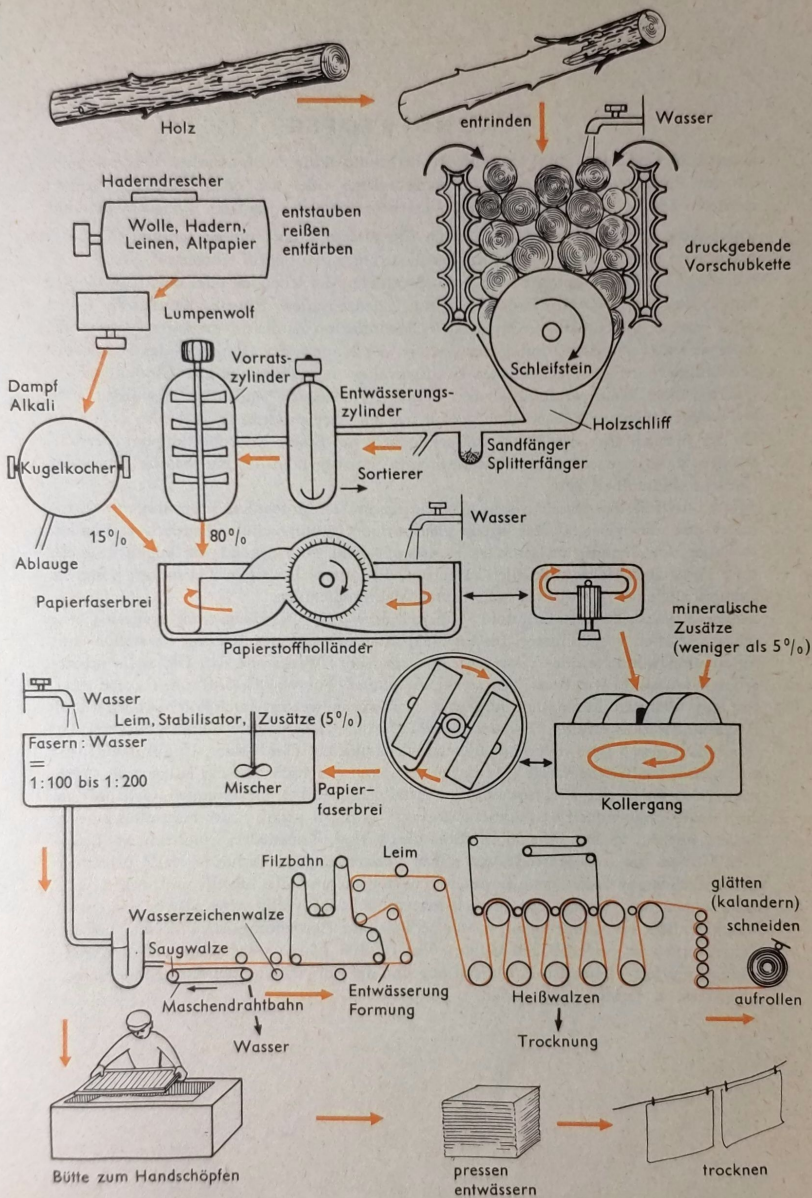
Papier ist ein flächiger Werkstoff, der zum Bedrucken, zum Beschreiben, als Hüll- oder Packpapier und für viele Sonderzwecke in sehr großen Mengen hergestellt wird. Sein Name stammt von der Papyrusstaude, aus deren Mark schon zur Ägypterzeit Blätter zum Beschreiben hergestellt wurden. Papier wird aus einem Gemisch verschiedenartiger, in der Hauptsache pflanzlicher Fasern hergestellt, die mit viel Wasser gemischt und fein zerkleinert, mit Leim und Füllstoffen versetzt in einer dünnen Schicht auf Siebe gegossen werden, dabei stark verfilzen und abgepreßt, getrocknet und geglättet werden. Diese Art Papier ist schon seit dem ersten Jahrhundert n. Chr. bekannt (China).

Als Rohstoff wird Faserstoff aus Nadelhölzern (Fichte, Tanne, Kiefer), aus Laubhölzern (Buche, Pappel, Birke, Kastanie, Espe, Eukalyptus), aus Gramineen (Stroh von Roggen, Weizen, Hafer, Gerste, Reis), Alfagras, Bambus und Baumwolle hergestellt. Dabei werden biochemische oder chemische und mechanische Aufschluß- und Zerkleinerungsverfahren eingesetzt. Den Hauptrohstoff für Zeitungspapier, Holzschliff, gewinnt man durch Schleifen von ganzen Baumstämmen an Schleifsteinen unter Druck und Zusatz von viel Wasser. Weitere Faserstoffe wie Hanf, Leinen, Wolle, Asbest, Schlackenwolle, Glasfasern und Chemiefasern werden in geringerer Menge oder nur in Sonderfällen den Pflanzenfasern zugesetzt. Das Fasergemisch wird chemisch gebleicht, in Papierholländern weiter zerkleinert, mit Füllstoffen und viel Wasser (Fasern zu Wasser 1:100 bis 1:200) gemischt, ständig gerührt und mit Kolophoniumseifen, Tierleimen, Stärkekleistern, Casein oder synthetischen Harzleimen und weiteren Stoffen versetzt. Sie bewirken, daß sich trotz großer Verdünnung mit Wasser der Leimstoff fast völlig auf die Faserteile niederschlägt. Diese Papiermasse wird auf Siebe gegossen (maschinell auf Siebbahnen, mit Hand auf Schöpfformen), entwässert, gepreßt, mit Wasserzeichen versehen, evtl. nachgeleimt und gefärbt, getrocknet, glattgewalzt und beschnitten. Je nach Verwendungszweck variiert die Rezeptur: große Pappen für Dachpappe werden z. B. mit Torf als Faserstoff neben Holzschliff versetzt, Dokumentenpapiere bestehen aus Fasergemischen, die Leinen und Hanf enthalten, Spezialpapiere enthalten bestimmte Fasern aus Textilien und tierischer Wolle, Zeitungspapier besteht aus 80% Holzschliff, 15% Zellstoff, 5% Kleb- und Füllstoffen; die Art der Verarbeitung spielt ebenfalls eine Rolle (Oberflächennachbehandlung, Feinstmahlung für durchsichtige Papiere usw.). — Die Maschinen für die Papierherstellung gehören zu den längsten, die in der Industrie überhaupt eingesetzt werden (die Papierbahn muß ja in den Maschinen auch getrocknet, geglättet und gekühlt werden).

Die Papierformate (Geschäfts- und Behördenpapiere) sind genormt. Die beschnittenen Maße der meistverwendeten DIN-A-Reihe sind:

DIN A0:	84,1 × 118,9 cm	DIN A4:	21,0 × 29,7 cm
DIN A1:	59,4 × 84,1 cm	DIN A5:	14,8 × 21,0 cm
DIN A2:	42,0 × 59,4 cm	DIN A6:	10,5 × 14,8 cm
DIN A3:	29,7 × 42,0 cm	DIN A7:	7,4 × 10,5 cm
	DIN A8: 5,2 × 7,4 cm		

DIN A4 ist Briefbogen-Normformat, DIN A6 ist Postkarten-Normformat.


Holz
entrinden
Wasser
Haderndrescher
Wolle, Hadern, Leinen, Altpapier
entstauben reißen entfärben
Lumpenwolf
druckgebende Vorschubkette
Schleifstein
Holzschliff
Vorrats-zylinder
Entwässerungs-zylinder
Sandfänger Splitterfänger
Sortierer
Dampf Alkali
Kugelkocher
Ablauge
15%
80%
Wasser
Papierfaserbrei
Papierstoffholländer
mineralische Zusätze (weniger als 5%)
Wasser
Leim, Stabilisator, Zusätze (5%)
Fasern : Wasser = 1:100 bis 1:200
Mischer
Papier-faserbrei
Kollergang
Filzbahn
Leim
Wasserzeichenwalze
Saugwalze
Maschendrahtbahn
Entwässerung Formung
Heißwalzen
Trocknung
glätten (kalandern)
schneiden
aufrollen
Wasser
Bütte zum Handschöpfen
pressen entwässern
trocknen

KUNSTSTOFFE

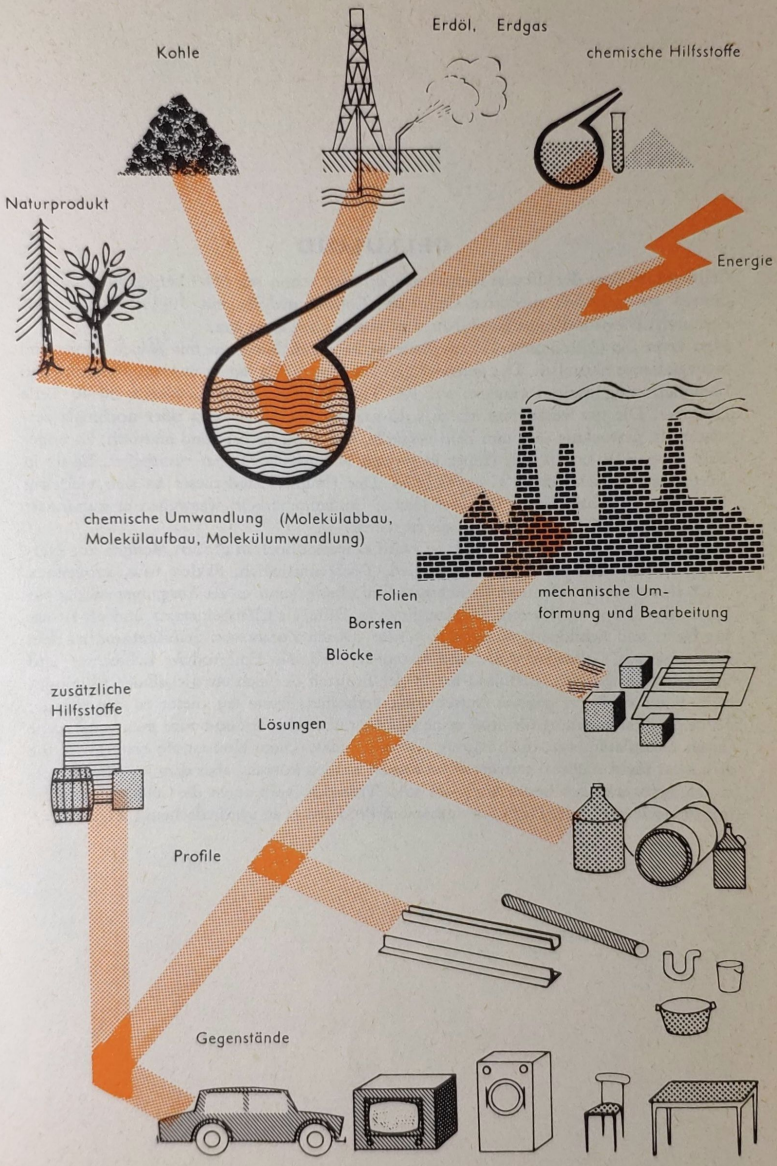
Kunststoffe sind Bau- und Werkstoffe aus makromolekularen organischen Verbindungen, die aus Produkten des Tier- und Pflanzenreiches oder aus deren Resten gewonnen werden und die in irgendeiner ihrer Verarbeitungsstufen plastisch (verformbar) sind.

Unter diese Definition würden auch die Chemiefasern und andere synthetische Stoffe fallen, man rechnet die Kunstfasern aber nicht unter den Begriff Kunststoff.

Kunststoffe stammen demnach aus Naturprodukten der lebenden oder ehemals belebten Natur: aus Holz, Kohle, Erdöl, Pflanzen, Pflanzensäften, Eiweiß. Kunststoffe haben meist bessere, gleichmäßigere technische Eigenschaften als die unveredelten Naturstoffe, denn sie sind nicht dem Einfluß des Wetters, des Klimas, der Düngung, des Standortes, Schädlingen und unberechenbaren Naturgewalten ausgesetzt, die alle Einfluß auf die Qualität eines Naturproduktes haben können. Kunststoffe sind allerdings dafür auch bei weitem nicht so kunstvoll aufgebaut wie ein Naturprodukt (z. B. Holz; s. S. 438). Da der Mensch aber den Kunststoff schließlich viel besser einer bestimmten Verwendungsaufgabe anpassen kann, sind bestimmte Eigenschaften der Kunststoffe denen der Naturprodukte überlegen.

Alle Kunststoffe bestehen aus sehr großen organischen Molekülen, sogenannten Makromolekülen, die meist 500 bis 10000 gleichartige Grundmoleküle chemisch verbunden enthalten. Die harten, unelastischen Kunststoffe sind überwiegend aus kugelförmigen, stark vernetzten Makromolekülen aufgebaut, die gummielastischen Kunststoffe bestehen hauptsächlich aus fadenförmig aufgebauten Makromolekülen.

Einige Kunststoffe wie Celluloid, Nitrocellulose und Chlorkautschuk stammen aus schon natürlich vorgebildeten großen Makromolekülen; solche Kunststoffe stellen chemisch umgewandelte oder verbesserte naturgegebene Werkstoffe dar. Die vollsynthetischen Kunststoffe wie Buna, Polystyrol, Acrylnitril, Polyvinylchlorid u. ä. müssen aber erst aus kleinsten Molekülen aufgebaut werden; sie werden durch Polymerisation und Polykondensation erzeugt. Niederes spezifisches Gewicht, leichte Verformbarkeit, Beständigkeit gegen sehr viele korrodierende Chemikalien, Färbbarkeit, Ungiftigkeit, hervorragende elektrische Werte sind einige der guten Eigenschaften der Kunststoffe. Man verwendet sie in der Elektroindustrie (Installation, Kabel, Isolierungen, Gehäuse), in der Bekleidungsindustrie (Textilausrüstung; vgl. S. 508), zur Herstellung von Folien, Filmen, Fäden, Borsten, Klebmitteln, Kitten, Kunstleder, Linoleum, als formbare Massen, als Anstrichstoffe usw.; ihre Verwendung in Technik und Haushalt ist unentbehrlich geworden, denn sie ersetzen in steigendem Maße Metalle und andere nicht mehr ausreichend vorhandene Materialien und schaffen völlig neue Möglichkeiten im Maschinenbau, im Fahrzeugbau, in der Möbel- und Einrichtungsindustrie und bei der Verpackung von verderblichen Gütern. Vor rd. 100 Jahren wurden die ersten Kunststoffe produziert – heute ist die Herstellung und die Entwicklung der Kunststoffe immer noch stark im Anwachsen begriffen.

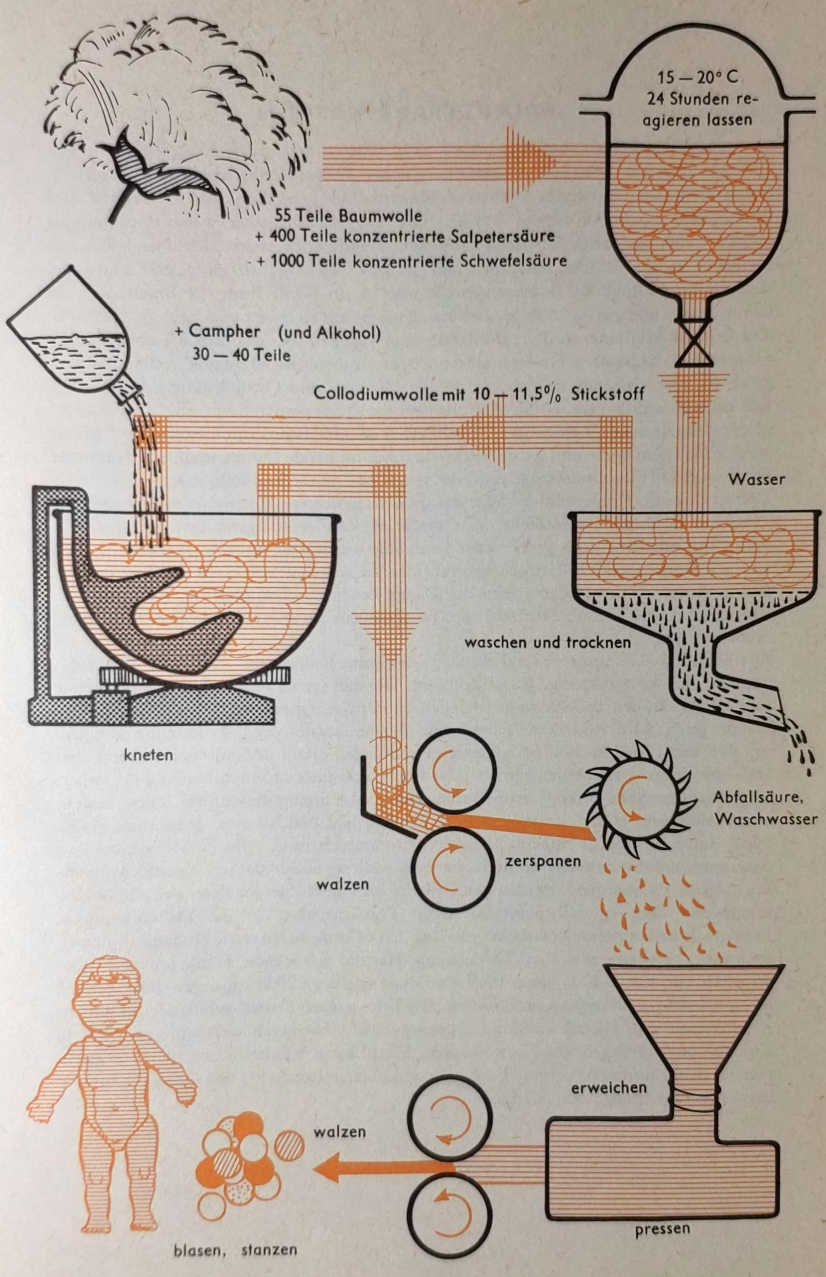

Kohle
Erdöl, Erdgas
chemische Hilfsstoffe
Naturprodukt
Energie
chemische Umwandlung (Molekülabbau, Molekülaufbau, Molekülumwandlung)
Folien
Borsten
Blöcke
mechanische Umformung und Bearbeitung
zusätzliche Hilfsstoffe
Lösungen
Profile
Gegenstände

CELLULOID

Celluloid ist einer der ältesten Kunststoffe, er wird schon seit 1869 hergestellt. Celluloid besteht aus schwach nitrierter Cellulose (Collodiumwolle mit 10–11,5% Stickstoff, chemisch: Dinitrocellulose) und dem weichmachenden Campher.

Man kann die Collodiumwolle aus Baumwolle durch Nitrieren mit Salpetersäure und Schwefelsäure herstellen. Die getrocknete Collodiumwolle wird mit einer alkoholischen Campherlösung innig verknetet; auf 100 Teile Dinitrocellulose kommen 30–40 Teile Campher. Die gut verknetete Masse wird nun zu Platten gewalzt oder nochmals zerschnitzelt, getrocknet und nun heiß verpreßt. Celluloid ist hart und elastisch, ist ungefärbt wasserklar und wurde früher in großen Mengen zu Filmen verarbeitet. Es ist in Aceton gut löslich, ab 80°C erweicht es. Der Hauptnachteil dieses an sich vielseitig verwendbaren Kunststoffes ist seine leichte Entflammbarkeit, weswegen er zumindest als Rohstoff für Filmmaterial bald ersetzt wurde.

Weil Celluloid leicht zu verarbeiten ist, wird es immer noch in großen Mengen zur Herstellung von Autoscheiben, Schutzhüllen, Tischtennisbällen, Skalen usw. verwendet. Nach transparenter oder undurchsichtiger Einfärbung kann es als Ausgangsmaterial für Spielwaren, Puppen, Bürsten, Kämme, Knöpfe, Bälle, als Elfenbeinersatz und als Ersatz für Horn und Schildpatt verwendet werden. Durch Zusatz von Stabilisatoren zu dem Gemenge aus Collodiumwolle und Campher wird das Endprodukt lichtechter und bleibt länger elastisch. Celluloid hat in der Frühzeit der sich entwickelnden Filmindustrie dieser zu ihrem raschen Aufschwung verholfen; heute hat dieser zu den ältesten Kunstprodukten gehörende Stoff seine Blütezeit überschritten und wird mehr und mehr durch unentflammbare, noch härtere oder noch elastischere Kunststoffe ersetzt, die für sich zwar meist nicht so universell verwendet werden können, aber dem jeweiligen Verwendungszweck noch besser angepaßt sind. Trotzdem verbraucht die Celluloidindustrie immer noch über zwei Drittel der gesamten Produktion an synthetischem Campher.

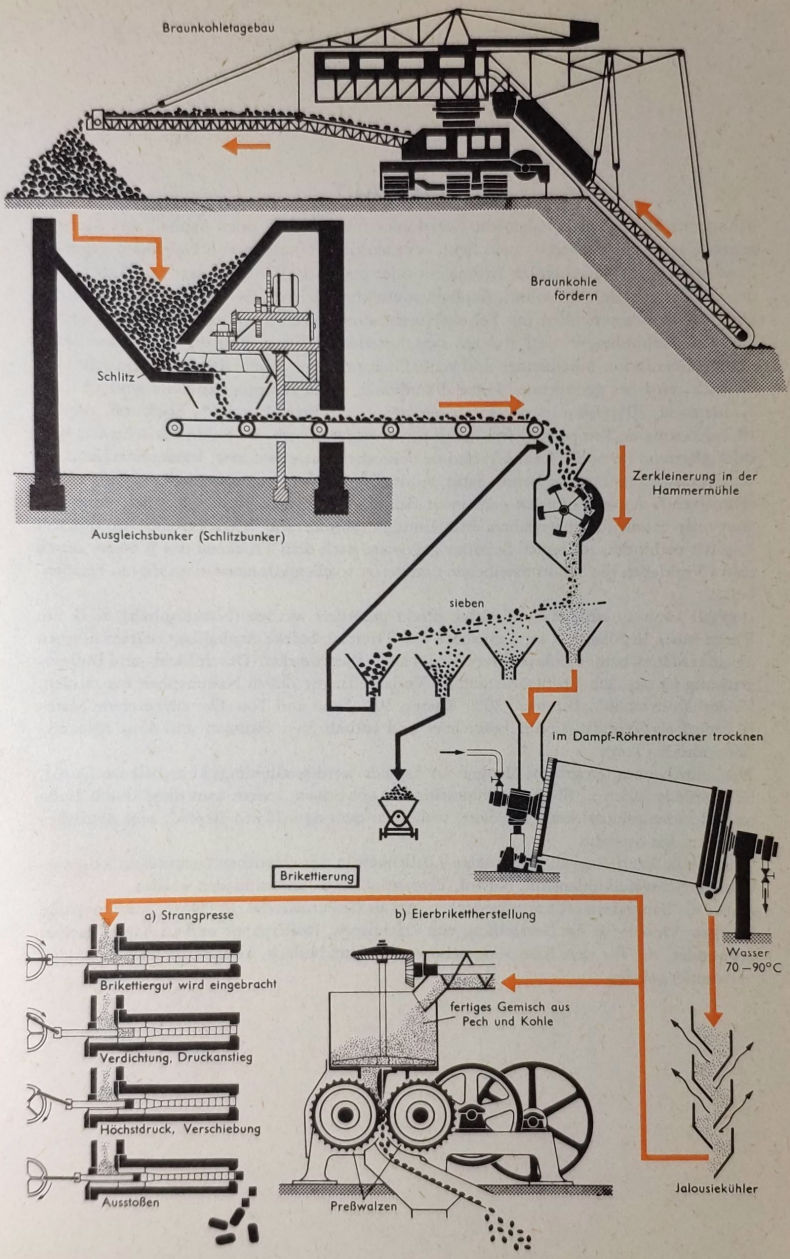

15 — 20° C
24 Stunden re-
agieren lassen
55 Teile Baumwolle
+ 400 Teile konzentrierte Salpetersäure
+ 1000 Teile konzentrierte Schwefelsäure
+ Campher (und Alkohol)
30 — 40 Teile
Collodiumwolle mit 10 — 11,5% Stickstoff
Wasser
waschen und trocknen
kneten
Abfallsäure,
Waschwasser
zerspanen
walzen
erweichen
walzen
pressen
blasen, stanzen

BRIKETTFABRIKATION

Deutsche Braunkohlen enthalten bis zu 62% Wasser und haben einen Heizwert von 1800 bis 2000 kcal (pro kg). Wegen dieses hohen Wassergehalts und des damit verbundenen niedrigen Heizwertes können Rohbraunkohlen praktisch nur in unmittelbarer Grubennähe direkt verwendet werden, ihre Verfrachtung über weite Entfernungen verbietet sich aus wirtschaftlichen Gründen. Braunkohlen lassen sich aber leicht brikettieren, indem sie fein zermahlen, auf 16–18% Wassergehalt getrocknet und dann unter hohem Druck zu Briketts gepreßt werden. In dieser Form ist Braunkohle ein hochwertiger und gut lagerfähiger Brennstoff mit einem Heizwert von mehr als 4800 kcal. Zur Brikettherstellung wird die Rohkohle vom Tagebau (wo sie durch Riesenbagger gefördert wird) meist über Förderstraßen oder per Grubenbahn zu einem Großraumbunker gefahren. Der Großraumbunker gleicht die Mengen- und Qualitätsschwankungen der Rohkohlenförderung aus. Die noch grubenfeuchte Kohle wird nun zum sog. „Naßdienst" geleitet, wo sie durch Walzen oder Flügelbrecher oder in Hammermühlen stark zerkleinert wird. Eine 1,6 m breite und 1,6 m im Durchmesser messende Hammermühle zertrümmert pro Stunde 180 t Rohbraunkohle auf Gries von etwa 7 mm Korndurchmesser.

Die zerkleinerte Kohle wird gesiebt, das gröbere gesichtete Material je nach Bedarf als „gesiebte Rohkohle" verschickt oder wieder in Zerkleinerungsmühlen gegeben. Die schließlich erhaltene noch grubennasse Feinkohle wandert in den sog. „Trockendienst", wo sie in Röhren- oder Tellertrocknern auf einen Wassergehalt von 17–20% gebracht wird. Ein moderner Röhrentrockner (eine mit Dampf beheizte, schräggestellte, sich drehende Röhre) kann bei 2400 m² Heizfläche eine Trocknungsleistung von 14 t Wasser pro Stunde erreichen.

Die beim Trocknungsprozeß auf 80–90° C erwärmte Kohle muß auf 40–50° C gekühlt werden; dies erfolgt in sog. Jalousiekühlern. Die nun etwa 15–18% Wasser enthaltende Kohle wird zu den Brikettpressen geleitet. In der Strangpresse (Herstellung von sog. Salonbriketts) wird vor jedem Preßhub eine abgenommene Menge Feinkohle von einem um 200 mm Hub hin- und herlaufenden Preßstempel erfaßt und mit einem Druck von 700–1000 kp/cm² zusammengepreßt. Der Preßdruck entsteht durch Reibung der schon zusammengepreßten Briketts beim Durchwandern der Strangpressenform. Diese besteht aus kompaktem, außerordentlich hartem Manganstahl und hat eine wulstartige Verengung, durch welche das Brikett durchgeschoben werden muß. Alle 12–14 Tage muß die Strangpressenführung ausgewechselt werden, weil sie einem starken Verschleiß unterliegt. Beim Preßvorgang werden die Briketts sehr heiß. Sie wandern zur Abkühlung schubweise über speziell geformte kleine Förderbrücken in die Verladewaggons. Eine große Brikettpresse verarbeitet pro Tag 250 t Kohle zu Briketts. Moderne Ringwalzenpressen erreichen eine ähnliche Leistung. Hat die getrocknete Feinkohle einen Wassergehalt von nur 7–10%, dann muß ein Druck von etwa 2000 atü angewendet werden, um gut haltbare Briketts zu produzieren. Der beim ganzen Prozeß anfallende gefährliche Kohlenstaub muß überall sorgfältig abgesaugt bzw. niedergeschlagen und am besten in Kohlenstaubfeuerungen verbrannt werden. Eierbriketts werden in speziellen Walzenpressen (Eiformpressen) hergestellt. Die Braunkohlenindustrie hat erst durch die Brikettherstellung ihre Bedeutung erlangt.


Braunkohletagebau
Braunkohle fördern
Schlitz
Ausgleichsbunker (Schlitzbunker)
Zerkleinerung in der Hammermühle
sieben
im Dampf-Röhrentrockner trocknen
Brikettierung
a) Strangpresse
Brikettiergut wird eingebracht
Verdichtung, Druckanstieg
Höchstdruck, Verschiebung
Ausstoßen
b) Eierbrikettherstellung
fertiges Gemisch aus Pech und Kohle
Preßwalzen
Wasser 70 – 90° C
Jalousiekühler

ASPHALT

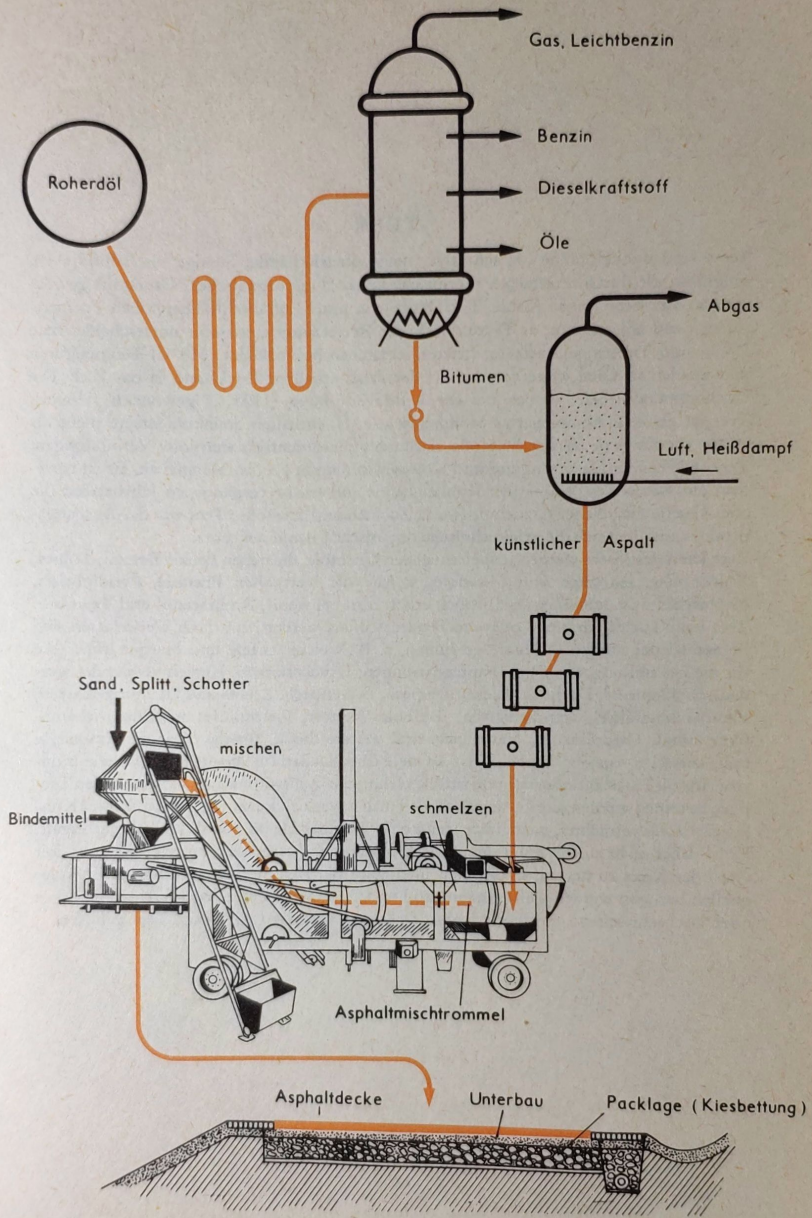
Schon vor 5000 Jahren haben die Babylonier mit Erdpech oder Asphalt ihre Gebäude gegen Wasser abgedichtet — auch heute werden die Kellerteile von Gebäuden gegen die Feuchtigkeit des umgebenden Erdreiches oder gegen das Grundwasser mit Asphalt und dessen Mischprodukten isoliert. Asphalt ist ein kompliziertes Gemisch von höhermolekularen Kohlenwasserstoffen mit Schwefelverbindungen, stickstoffhaltigen und sauerstoffhaltigen Verbindungen und anderen Bestandteilen, die zum Teil durch Polymerisation und Kondensation miteinander und schließlich noch mit Mineralstoffen vermischt sind. Asphalt wird bei genügender Hitze dünnflüssig, seine Hauptbestandteile sind rd. 80% Kohlenstoff, 10% Wasserstoff, 3% Sauerstoff, 6% Schwefel und 1% Stickstoff. Asphalt ist bei normaler Temperatur fest, zeigt muscheligen Bruch, ist braun bis schwarz, matt oder glänzend (je nach Herkunft) und ist besonders wasserfest bzw. wasserabweisend. Er wird meist zusammen mit Beton, Sand, Splitt, Kies verwendet; wenn der bei 70 bis 150°C schmelzende Asphalt mit den genannten Baumaterialien heiß vermengt wird, entstehen wertvolle Straßenbaumaterialien. Mit Emulgiermitteln und Wasser flüssig emulgierter Asphalt verbindet, auf feinen Schotter gegossen, nach dem Trocknen des Wassers durch festes Verkleben die Schottersteinchen und liefert so ebenfalls einen wetterfesten Straßenbelag.

Asphalt kann an einigen Fundstätten direkt gefördert werden (Naturasphalt), z. B. am Toten Meer, in Albanien, im Asphaltsee von Trinidad. Solche Asphaltlagerstätten können als unverdampfbarer Rückstand von Erdöl angesehen werden. Durch Licht- und Lufteinwirkung ist aus dem Erdölrückstand im Verlaufe langer Zeiten Naturasphalt entstanden. Er enthält etwa 40% Bitumen, 30% Wasser, 30% Sand und Ton. Das aufbereitete Material wird als Trinidad-Epuré bezeichnet und enthält 55% Bitumen und 45% Mineralbestandteile (Ton).

Die heute benötigten großen Mengen an Asphalt werden allerdings künstlich aus Destillationsrückständen z. B. der Erdöldestillation gewonnen, indem man diese durch Luft- und Heißdampfeinwirkung oxydiert, wobei ein dem natürlichen Asphalt sehr ähnliches Stoffgemisch entsteht.

Von Kohle kann Asphalt durch seine Löslichkeit in verschiedenen chemischen Lösemitteln wie Schwefelkohlenstoff, Benzol, Terpentinöl usw. unterschieden werden.

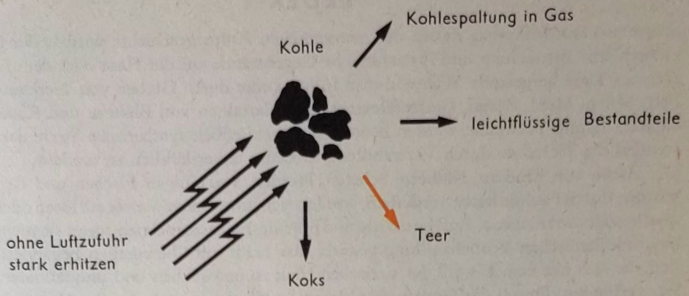
Außer als Baumaterial für Straßendecken und als Isoliermaterial für Häuser werden große Mengen Asphalt für die Herstellung von Dachpappe, Isolierpappe und zu Asphaltlacken verwendet, die für den Korrosionsschutz, als Grundierlack, Isolierlack und Lederlack verwendet werden.

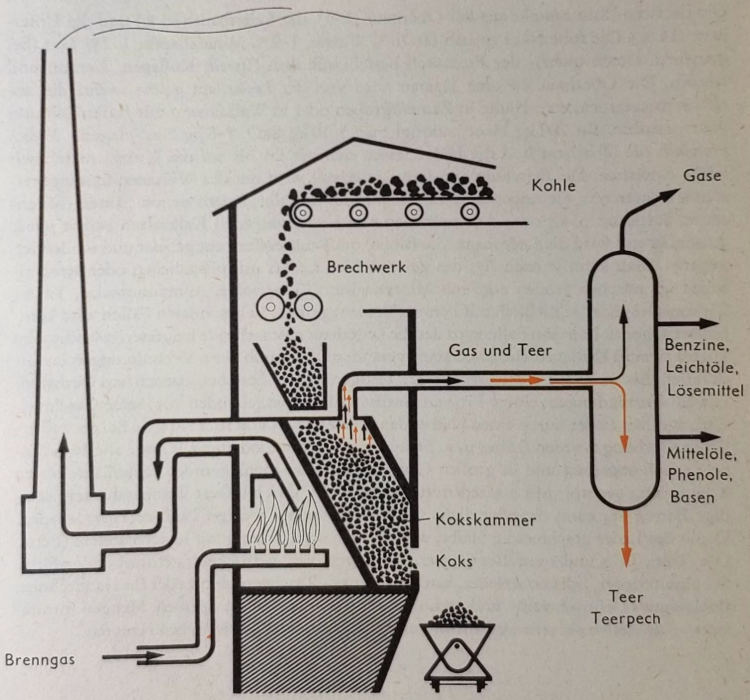

Gas, Leichtbenzin
Benzin
Dieselkraftstoff
Öle
Roherdöl
Abgas
Bitumen
Luft, Heißdampf
künstlicher Aspalt
Sand, Splitt, Schotter
mischen
Bindemittel
schmelzen
Asphaltmischtrommel
Asphaltdecke
Unterbau
Packlage (Kiesbettung)

TEER

Teere sind dunkelbraune bis schwarze, meist übelriechende, flüssige bis halbfeste Erzeugnisse, die durch zersetzende thermische Behandlung organischer Naturstoffe gewonnen werden. Erhitzt man Kohle, Torf, Holz o. a. unter Luftabschluß bei hohen Temperaturen, dann entstehen u. a. Teere. Nach der Zersetzungstemperatur unterscheidet man Hoch- und Tieftemperaturteere. Letztere entstehen bei mäßigen (650°C) Temperaturen und werden zu Ölen weiterverarbeitet; der dabei erhaltene Rückstand ist das Pech. Die Hochtemperaturteere werden bei der Kohleverkokung (1100°C) gewonnen (Urteer). Teer ist ein sehr kompliziertes Stoffgemisch, z. B. enthalten Steinkohlenteere mehr als 10000 verschiedene chemische Stoffe, darunter außerordentlich wertvolle Verbindungen. Teer fällt bei der Gaserzeugung und Koksgewinnung in großen Mengen an. Er ist trotzdem ein wertvolles Produkt der Kohlenchemie und war im vergangenen Jahrhundert die erste Quelle zahlreicher Arzneimittel und leuchtender Farbstoffe; Teer war das Ausgangsprodukt, auf dem sich die großtechnische organische Chemie aufbaute.

Teer kann destilliert werden; dabei entstehen Leichtöle, die neben Benzin Benzol, Toluol, Xylole usw. enthalten und Mittelöle, welche die wertvollen Phenole, Pyridinbasen, Naphthalin usw. enthalten; schließlich erhält man Schweröl, Anthracenöl und Teerpech. Teer kann auch hydrierend oder crackend destilliert werden; auf diese Weise lassen sich immer wieder andere Produkte gewinnen, z. B. Weichparaffine und Hartparaffine (die für die Herstellung von Papierimprägnierungen, Druckerfarben, Kerzen verwendet werden). Straßenteere, Dachteer, Elektrodenpech, Brikettpech, Klebe- und Dichtungsmassen, Bautenschutzmittel, Imprägnieröle, Treiböle, Heizöle, Kreosotöle, Schädlingsbekämpfungsmittel, Carbolineum, Harze usw. sind weitere Stoffe, für die Teer die Ausgangsbasis darstellt. Aus der Tatsache, daß so viele Chemikalien für die pharmazeutische Industrie, für die Farbstoffindustrie und für die technische Industrie aus den verschiedenen Teeren gewonnen werden, ergibt sich auch, daß man eigentlich kurzsichtig handelt und Kohlenwertstoffe vernichtet, wenn man Steinkohle, Braunkohle oder Holz einfach verbrennt. Es ist daher nicht zuletzt unter dem Gesichtspunkt der Teergewinnung viel richtiger, mit Gas oder Koks zu heizen, wenn nicht überhaupt die Heizenergie aus anderen Energiequellen bezogen werden sollte. In einigen hundert Jahren werden jedenfalls Kohle, Holz oder Torf sehr seltene, wertvolle Rohstoffe sein — und dazu wird auch Teer gehören.


Kohle
Kohlespaltung in Gas
leichtflüssige Bestandteile
Teer
Koks
ohne Luftzufuhr
stark erhitzen

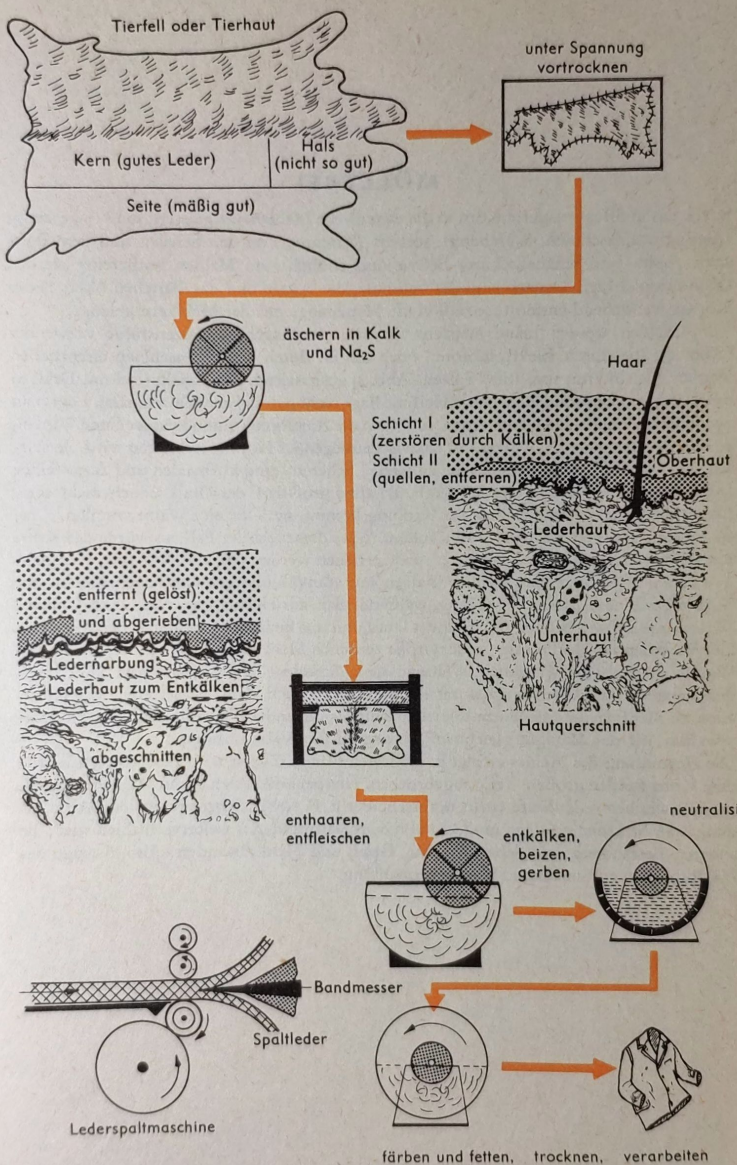

Kohle
Gase
Brechwerk
Gas und Teer
Benzine,
Leichtöle,
Lösemittel
Mittelöle,
Phenole,
Basen
Kokskammer
Koks
Teer
Teerpech
Brenngas

LEDER

Schon seit den frühesten Zeiten der menschlichen Kulturgeschichte wird Leder für die menschliche Bekleidung und für zahlreiche Gegenstände aus der Haut oder dem Fell geeigneter Tiere hergestellt. Während man früher Leder durch Gerben von Tierhäuten mit Fett, Milch, Mehl, Alaun, Galläpfelextrakt und Extrakten von Blättern und Rinden geeigneter Bäume herstellte, werden heute fast ausschließlich synthetische Stoffe dazu verwendet, die Tierhäute durch Verwandlung in Leder unverderblich zu machen.

Die Häute von Rindern, Kälbern, Schafen, Pferden, von einigen Fischen und Reptilien würden durch Fäulnis leicht verderben, würden sich in warmem Wasser auflösen oder stark quellen oder an trockener Luft hornartig und brüchig-hart austrocknen, wenn sie nicht nach einer mechanischen Vorbehandlung gegerbt, das heißt mit Chemikalien behandelt würden, die sich mit dem Eiweiß der tierischen Haut zu unlöslichen und unquellbaren Stoffen verbinden. Durch das Gerben erhält man Leder, das je nach Art der Haut oder der beabsichtigten Verwendung durch weitere Zusätze hart, zäh oder weich gemacht wird.

Die tierische Haut besteht aus der Oberhaut (1 %), der Lederhaut (85 %) und der Unterhaut (14 %). Die rohe Haut enthält 60–70 % Wasser, 1–2 % Mineralstoffe, 1–2 % Fett (bei manchen Tieren mehr); der Restanteil besteht aus dem Eiweiß Kollagen, Keratin und Elastin. Die Oberhaut mit den Haaren wird von der Lederhaut gelöst, wenn die zunächst vorgetrockneten Häute in Zementgruben oder in Walkfässern mit Kalkmilch und Natriumsulfid (für 100 kg Haut benötigt man 5–10 kg CaO, 1–3 kg Na_2S) lagern. Dabei erweicht die Oberhaut und die Haare lassen sich mit ihr bis auf die Wurzel maschinell leicht entfernen. Die fleischige und fette Unterhaut wird mit der Walzenentfernungsmaschine abgetrennt, die ungegerbte Lederhaut nun entkälkt, indem sie mit Säuren (Milchsäure, Salzsäure o. ä.) oder Ammonsalzen von eingedrungenen Kalksalzen befreit wird. Anschließend wird die Lederhaut (die Blöße) mit Pankreasferment gebeizt und schließlich gegerbt. Man kann je nach Art des gewünschten Leders mit pflanzlichen oder synthetischen organischen Stoffen oder mit Mineralsalzen (Chromsalze, Aluminiumsalze, Titan-, Zirkonsalze) oder schließlich mit Fetten (Tranen) gerben. In besonderen Fällen wird kombiniert gegerbt. In jedem Falle wird das die Lederhaut ausmachende langfaserige hochmolekulare Eiweiß Kollagen chemisch stark verändert und durch diese Veränderungen unverderblich. Bis zu 75 Gewichtsprozent des fertigen Leders bestehen danach aus Gerbstoff-Eiweiß-Verbindungen, einige Prozent Gerbstoff liegen ungebunden vor; seine Geschmeidigkeit erhält Leder durch einen bleibenden Wassergehalt von rd. 15–18 %. Bei der pflanzlichen Gerbung wurden früher u. a. Fichten- und Eichenrinden mit Wasser alle zwei Monate frisch angesetzt und in großen Gruben die dazwischenlagernden Lederhäute bis zu 2 Jahre lang gegerbt. Mit konzentrierter Gerberlohe, durch höhere Temperatur und ständige Bewegung kann die pflanzliche Gerbung heute auf wenige Tage verkürzt werden. Damit das Leder geschmeidig bleibt, wird es nach der Gerbung mit Lederschmiere (Fette, Öle, Tran, Talg und spezielles Gerberfett) eingerieben, getrocknet, geformt und gefärbt. Schuhunterleder, Schuhoberleder, Sattler-, Polster-, Täschnerleder, Leder für Handschuhe, Bekleidungs-, Hutschweiß- und technische Leder werden in großen Mengen produziert — sie stellen ein sehr wertvolles Veredelungsprodukt der tierischen Haut dar.


Tierfell oder Tierhaut
Kern (gutes Leder)
Hals
(nicht so gut)
Seite (mäßig gut)
unter Spannung
vortrocknen
äschern in Kalk
und Na_2S
Haar
Schicht I
(zerstören durch Kälken)
Schicht II
(quellen, entfernen)
Oberhaut
Lederhaut
Unterhaut
Hautquerschnitt
entfernt (gelöst)
und abgerieben
Ledernarbung
Lederhaut zum Entkälken
abgeschnitten
enthaaren,
entfleischen
entkälken,
beizen,
gerben
neutralisieren
Bandmesser
Spaltleder
Lederspaltmaschine
färben und fetten,
trocknen,
verarbeiten

MÜLLEREI

Bevor das in Silos gelagerte Korn in die eigentliche Mahlanlage gelangt, muß es gereinigt (Aspirationsmaschinen, Wäscherei), sortiert (Trieure), von den Schalen und dem Bärtchen (Spitz- und Schälmaschine) befreit und endlich zum Mahlen vorbereitet werden (Konditionierung). Danach sind der Schmutz, die Schale und das Bärtchen (Abb. 1) des Kornes weitgehend entfernt, so daß in die Mahlanlage nur der Mehlkern gelangt.

Zum Mahlen werden heute meistens für alle Arbeitsgänge Walzenstühle verwendet (Abb. 6), die durch Elektromotoren oder zentral durch Dampfmaschinen angetrieben werden. Sie sind mit sog. Riffelwalzen (Abb. 2) ausgestattet. Die Riffeln sind mit Drall in die Walze eingearbeitet, d. h., die Riffellinie liegt nicht parallel zur Walzenachse. Legt man zwei solcher Drallwalzen zusammen, so bilden die Riffellinien untereinander einen Winkel, so daß bei Drehung der Walzen ein dazwischenliegendes Korn zerschnitten wird. Je stärker nun der Drall der Walze ist, um so mehr „Scheren" sind vorhanden und desto feiner kann das Korn gemahlen werden (Abb. 3); allzu groß darf der Drall jedoch nicht sein. Damit die Scherwirkung richtig zur Wirkung kommt, muß die eine Walze voreilen, d. h., sie muß sich schneller drehen als die andere. Wäre dies nicht der Fall, so würde das Korn nur gequetscht und nicht geschnitten und zerrieben werden (Abb. 4). Will man viel Mehl gewinnen, so benutzt man größere Walzen mit stumpfwinkligen und feinen Riffeln, mit hohem Drall und großer Voreilung, während man zur Herstellung von Grieß kleinere Walzen mit spitzen Riffeln, mit kleinem Drall und mit kleiner Voreilung verwendet.

Zur Verarbeitung der Dunste (in der Größe zwischen Mehl und Grieß) benützt man glatte Walzen aus Stahl und Porzellan. Während die Riffelwalzen das Korn drücken und schneiden, arbeiten die glatten Walzen mit Reibung und Druck, d. h., sie zerreiben das Körnchen zu Mehl, wenn eine Walze schneller läuft als die andere. Wichtig sind auch die Speisewalzen, die das Mahlgut gleichmäßig zwischen die Walzen bringen.

Die Herstellung des Mehles erfolgt in mehreren Stufen. Zuerst wird geschrotet, d. h., aus dem Korn werden größere Teile abgebrochen. Hierbei bilden sich schon Mehl und Grieß, so daß zwischen jeder Stufe (man unterscheidet z. B. sieben Schrotstufen) eine Abscheidung oder Sichtung erfolgen muß, die von dem Schrotgut, das weitervermahlen wird, die anderen Bestandteile wie Schalen, Kleie, Grieß und Mehl absondert. Abb. 5 zeigt das Fließbild einer automatischen Weizenvermahlung.

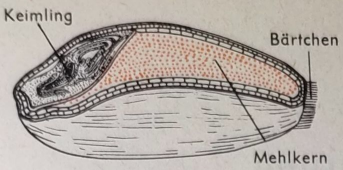


Abb. 1 Weizenkorn

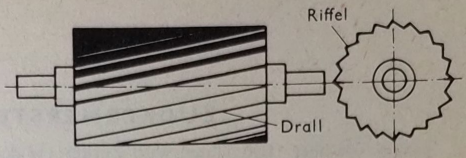
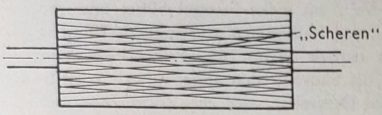


Abb. 2 Riffelwalzen



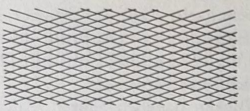


Abb. 3 Verschiedene Riffelungen

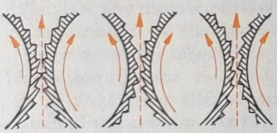
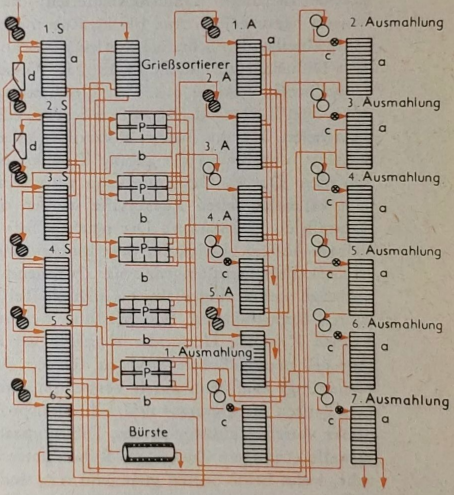


Abb. 4 Voreilung einer Walze



a = Plansichter
b = Grieß- und Dunstputzvorrichtung
c = Auflösemaschine (Detacheur)
d = Mahlguteinläufe
A = Auflöung
P = Putzvorrichtung
S = Schrotwalzen

Abb. 5 Vermahlungsplan einer Weizenmühle

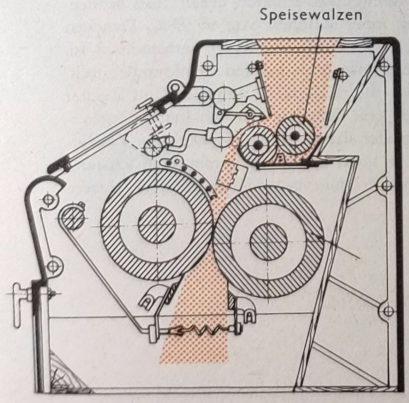
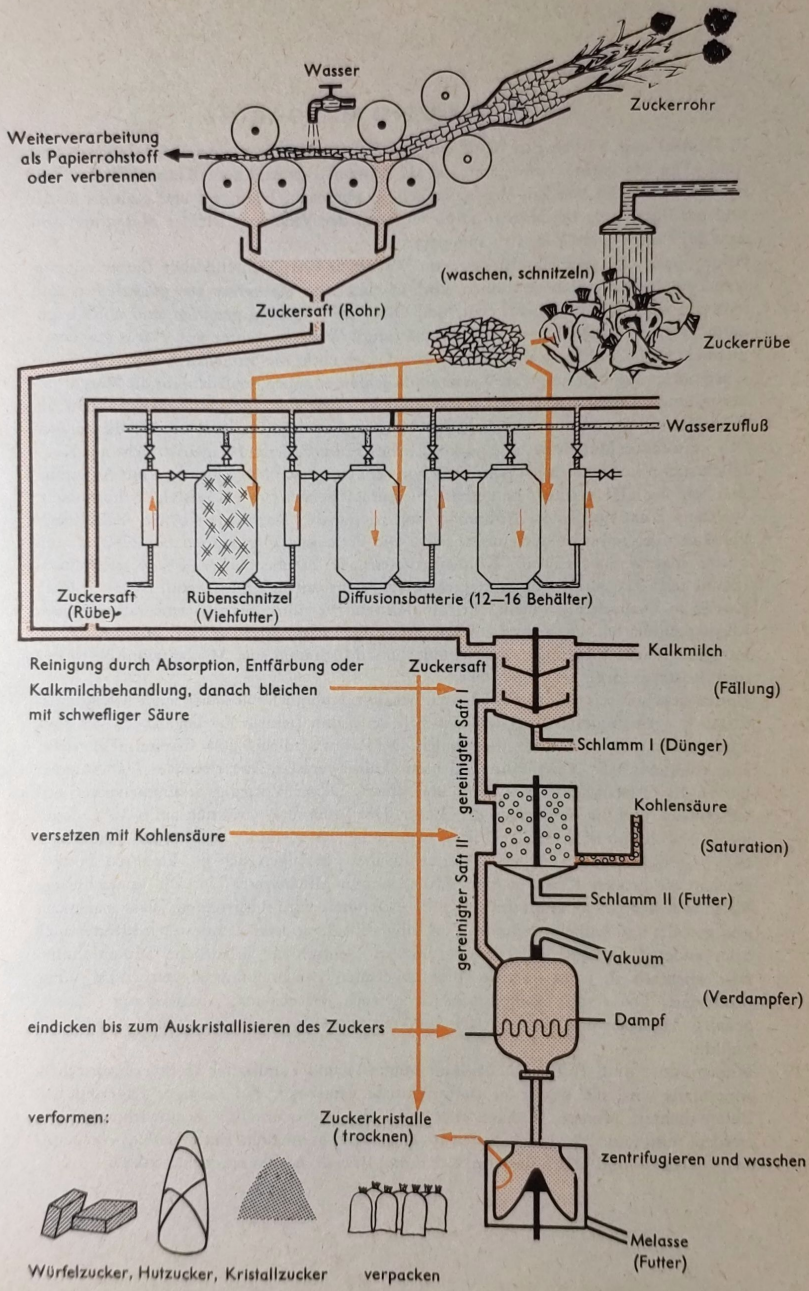


Abb. 6 Walzenstuhl

ZUCKERHERSTELLUNG

Schon seit über 1000 Jahren wird Zucker aus dem Mark des Zuckerrohrs gewonnen, seit Beginn des 19. Jahrhunderts auch aus dem Fleisch der Zuckerrübe. Zuckerrohr ist eine Grasart, die 2 bis 4 m hohe und 4 bis 6 cm dicke Stengel bildet und die in Westindien, Ostindien, Südamerika, Hawaii, den Philippinen und anderen Tropengebieten angebaut wird. Das Zuckerrohrmark enthält 14 bis 16% Rohrzucker. Die Zuckerrübe wird in Europa von der Poebene bis Südschweden angebaut, sie enthält 17–20% Zucker. In den Monaten Oktober bis Dezember wird die Zuckerrübe auf Zucker verarbeitet, wobei sie schon beim Entladen von den Transportfahrzeugen durch kräftiges Spritzen mit Wasser gereinigt und danach in Schnitzelmaschinen in lange dünne Schnitzel zerteilt wird. Aus den dreikantigen Schnitzeln wird der Zucker in großen Behältern (Diffusionsbatterien) oder auch in Einsäulenauslaugtürmen durch Wasser herausgelöst. Aus 100 kg Rüben erhält man 110 bis 120 kg Diffusionssaft. Die zurückbleibenden Schnitzel werden getrocknet und als Viehfutter verwendet.

Der Diffusionssaft enthält 13–15% in Wasser gelösten Zucker, daneben Säuren, Salze, Eiweißstoffe, Pektine u. a. Fast gleichartigen Zuckersaft erhält man aus dem Zuckerrohr. Sein Rückstand (Bagasse) wird entweder verbrannt oder als Papierrohstoff weiterverarbeitet. Die aus beiden Rohstoffen erhaltenen Zuckersäfte werden mit Kalkmilch versetzt, dabei wird der größte Teil der Nichtzuckerbestandteile als Schlamm abgeschieden. Der Kalkschlamm kann verfüttert oder auch als Dünger verwertet werden. Die kalkbehandelten Zuckersäfte werden nun mit Kohlensäure oder Schwefeldioxid neutralisiert (Saturation). Der neutrale Saft wird filtriert, notfalls gebleicht (z. B. mit Schwefeldioxid, Aktivkohle oder Ionenaustauscherharz) und nach nochmaliger Filtration in Dicksaftkochern eingedampft. Zwischendurch wird er wieder filtriert und schließlich so lange weiter eingedickt, bis sich ein Teil des Zuckers als Kristallmasse ausscheidet. Durch Zentrifugieren, Waschen und weitere Reinigungsverfahren erhält man schneeweißen Kristall-, Hut- oder Würfelzucker mit einer Reinheit von 99,95%. Daneben fällt ein braungefärbter Sirup an, die sog. Melasse, die als Viehfutter verwendet wird. Neuerdings kann man durch Verwendung von adsorptiv wirkenden Reinigungsmitteln den ganzen Reinigungs- und Filtrationsprozeß mit Kalkmilch umgehen und Zucker direkt durch Eindampfen des Diffusionssaftes und Waschen der erhaltenen Zuckerkristalle gewinnen. Zucker aus Rüben unterscheidet sich nicht von Zucker aus Zuckerrohr, wenn beide Sorten genügend rein sind. In nicht besonders gereinigtem Zustand ist Rübenzucker dem aus Zuckerrohr gewonnenen Produkt in der Haltbarkeit überlegen.


Wasser
Zuckerrohr
Weiterverarbeitung als Papierrohstoff oder verbrennen
(waschen, schnitzeln)
Zuckersaft (Rohr)
Zuckerrübe
Wasserzufluß
Zuckersaft (Rübe)
Rübenschnitzel (Viehfutter)
Diffusionsbatterie (12—16 Behälter)
Reinigung durch Absorption, Entfärbung oder Kalkmilchbehandlung, danach bleichen mit schwefliger Säure
Zuckersaft
Kalkmilch
(Fällung)
gereinigter Saft I
Schlamm I (Dünger)
Kohlensäure
versetzen mit Kohlensäure
(Saturation)
gereinigter Saft II
Schlamm II (Futter)
Vakuum
(Verdampfer)
eindicken bis zum Auskristallisieren des Zuckers
Dampf
verformen:
Zuckerkristalle (trocknen)
zentrifugieren und waschen
Melasse (Futter)
Würfelzucker, Hutzucker, Kristallzucker
verpacken

BUTTER UND MARGARINE

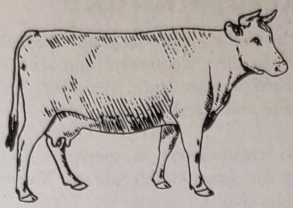
In Deutschland werden pro Kopf der Bevölkerung im Jahr etwa 7–9 kg Butter und rund 11 kg Margarine verbraucht, die als Brotaufstrich und zum Kochen, Braten und Backen verwendet werden. Verdaulichkeit, Geschmack, Nährwert und Kaloriengehalt sind bei Butter wie bei Margarine gleich, auch der Vitamingehalt der Margarine wird dem der Butter heute künstlich angepaßt.

Beide Speisefette sind Emulsionen von Wasser in Fett; während aber Butter nur aus dem Fett der Kuhmilch gewonnen wird, erzeugt man Margarine aus pflanzlichen und teilweise auch aus tierischen Fetten und Ölen, die sorgfältig gereinigt und notfalls gehärtet werden (durch Wasserstoff; Fetthärtung). Während Butter von Natur aus emulgierende Stoffe enthält, welche die für den Geschmack, die Streichbarkeit und das Aussehen nötige Emulgierung von Wasser im Milchfett erlauben, muß dem für die Margarineherstellung vorgesehenen Fett und Öl noch Sauermilch (gesäuerte Magermilch) als Emulgiermittel zugesetzt werden; auch weitere pflanzliche Emulgatoren werden zusätzlich verwendet. Margarine ist eine künstliche „Butter", deren Fettgehalt nicht aus Kuhmilch stammt. Sie wurde im Jahre 1869 von dem Franzosen Mège Mourries auf Anregung von Napoleon III. erstmals hergestellt. Sie enthält je nach Sorte Rindstalg, Schweinefett, Waltran, Baumwollsaatöl, Erdnußöl, Sojaöl, Rapsöl, Rüböl, Kokosfett, Palmkernöl gehärtet oder teilweise auch ungehärtet. Die Fette und Öle werden bei 27–29 °C mit saurer Magermilch, Eiweiß, Kohlenhydraten wie Traubenzucker, 2% Kartoffelmehl (damit man Margarine von Butter chemisch leicht unterscheiden kann, ist ein solcher Zusatz in Deutschland Pflicht) 45 Minuten lang verrührt, bis sich eine rahmähnliche Masse gebildet hat. Diese wird auf 2 °C abgekühlt, geknetet und gewalzt, mit etwas Salz, Farbstoffen und Vitaminen versetzt (auch mit Milchrahm und Milchgeschmackstoffen) und danach geformt und abgepackt.

Butter ist schon seit nahezu 5000 Jahren bekannt. Kuhmilch wird nach einer Reinigungsfiltration zentrifugiert; dabei scheidet sich der Rahm (feinste Fettkügelchen von etwa 1 millionstel mm ⌀) von der Magermilch. Der Rahm wird bei 92–94 °C keimfrei gemacht, abgekühlt, mit 3–5% einer reinen Milchsäurekultur versetzt. Danach reift er 7–10 Stunden bei 16–18 °C (ständiges Umrühren) und säuert. Dieser Vorgang bestimmt später den Geschmack und die Konsistenz der Butter. Der Sauerrahm wird nun auf 8–10 °C abgekühlt und in den Butterfertiger, einen sich drehenden Zylinder gefüllt und dort innerhalb $^1/_2$–$^3/_4$ Stunde zu Butter geklumpt. Dabei vereinigen sich die kleinsten Fettkügelchen zu großen Klumpen und schließen nun Milchwasser ein. Die überschüssige Milch scheidet sich als Buttermilch ab, die Rohbutter wird mit frischem Wasser geknetet und gewalzt und schließlich geformt und abgefüllt. In anderen Ländern wird Butter auch nach anderen Verfahren hergestellt; die in Deutschland erhältliche Süßrahmbutter wird ebenfalls in einer von der hier gegebenen Beschreibung abweichenden Weise produziert. Die fertige Butter wird in Geruch, Geschmack, Ausarbeitung (Wassergehalt), Aussehen und Gefüge nach Punkten beurteilt, die beste „Zensur" ergibt 20 Punkte.

Markenbutter muß 17 Punkte, Molkereibutter 16 und Landbutter 13 Punkte erreichen, andernfalls wird die Butter zu Butterschmalz verarbeitet. Bei richtiger Lagerung hält Butter mehrere Monate, sie kann aber bei Licht-, Luft- und Wärmeeinwirkung ranzig werden. Butter und Margarine dürfen 10–17% Wasser enthalten. Butter enthält von Natur aus Vitamin A und D, Cholesterin, Lecithine, Eiweiß, Milchzucker und Salze.

Butter



Milch; Kontrolle;
Reinigung; Erhitzen

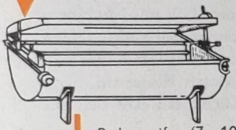
zentrifugieren (45° C)

Rahm

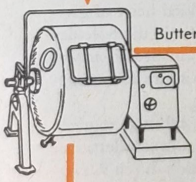
Magermilch

Rahmerhitzer (92° - 94 °C)

Milchsäurekultur 3 - 5 %



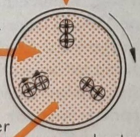
Rahmreifer (7—10 Stunden)



Butterfertiger (8—10° C)

Buttermilch

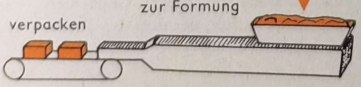
Wasser



Waschwasser

kneten

zur Formung



verpacken

Margarine

Kokosfett und andere
Fette und Öle

rühren

Eiweiß,
Kohlehydrate,
Zusätze
27—29° C

Sauermilch

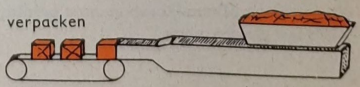
kühlen
(+2 ° C)

Salz,
Farbstoffe, Milchrahm

walzen,
kneten

Vitamine

zur Formung



verpacken

SALINENWESEN, STEINSALZGEWINNUNG

Steinsalz (NaCl) ist die natürlich vorkommende chemische Verbindung der Elemente Natrium und Chlor. Es findet sich mit 2,7 bis 3,9% in allen Weltmeeren und als Sediment der geologischen Vergangenheit im Untergrund unserer Erde; Beckenabschnürungen vom offenen Ozean, wüstenähnliches Klima und Landhebungen haben diese Eindampfungsrückstände entstehen lassen.

1. Meeressalinen: Durch stufenweise Lenkung des Strandwassers in getrennte flache Becken (Salzgärten) kristallisiert durch Verdunstung (trockener Wind) Salz aus. Meeressalz enthält Beimengungen (Sulfate, Magnesiumchlorid u. a.) sowie 5% Wasser; es ist schwer vermahl- und absiebbar und dient hauptsächlich zur Nahrungsmittelkonservierung. *2. Verdampfung von Steinsalzsole:* Salinen dieser Art beziehen ihre Sole (= wässerige Lösung von NaCl) aus Bohrlöchern, welche auf ein Steinsalzlager gestoßen wurden und durch Pumpen gesättigte Sole (30% NaCl) liefern. Die Versiedung natürlicher Solquellen (etwa 4% NaCl), die einer vorausgehenden Anreicherung durch sog. Gradierwerke bedurfte, ist seit langem aufgegeben. Noch vorhandene Gradierbauten (Reisigwände, über welche Quellsole heraberäufelt) dienen heute lediglich der Heilatmung. Die geförderte Rohsole wird durch Abscheidung von Carbonaten, Gips u. a. gereinigt und in flache eiserne Pfannen geleitet, unter denen gemauerte Feuerzüge verlaufen. Das mit der Erwärmung sich ausscheidende NaCl sinkt zum Pfannenboden herab und wird durch vollmechanische Austragsvorrichtungen (Racker) über eine schiefe Ebene ausgezogen. Der Salzbrei mit 40% Wasser wird durch Vakuumanlagen in Zentrifugen gesogen und bis zu 5% Wassergehalt geschleudert. Das vorgetrocknete Gut wird zu einem Trockenofen befördert und anschließend abgesiebt. In besonderen Gebäuden finden Magazinierung, Sichtung, Zusatzbehandlung, Absackung, Paketierung und Versand statt. Pökelsalz erhält Nitritzusatz, Vieh- und Streusalz werden durch Eisenoxid, Soda oder andere Stoffe vergällt. Das grobkristallne, volumenreiche Küchensalz läßt sich nur durch einen verhalten geführten Sudpfannenprozeß herstellen.

Neuere Salinen arbeiten zur Erzielung eines besseren Wärmeeffektes mit sog. Verdampferapparaten. In diesen wird die sorgfältigst gereinigte Sole durch Dampfschlangen zum Kochen gebracht. Der entstehende Brüden wird einem nächsten Apparat zugeführt und bringt dort dessen Sole zum Kochen. Der hierbei aufsteigende Brüden heizt in gleicher Weise (bei weiter abgesunkener Temperatur, aber verstärktem Vakuum) die Sole des nächstfolgenden Verdampfers zum Kochen auf. So lassen sich bis zu fünf Stufen aneinanderreihen. Der Salzbrei wird am unteren Ende des Apparates kontinuierlich ausgetragen, in Zentrifugen gesaugt und wie Pfannensalz weiterverarbeitet.

Der größte Teil der zutage gepumpten Sole wird nicht zur Siedesalzherstellung, sondern unmittelbar für chemische Zwecke (Sodaherstellung, Chlorelektrolyse u. a.) gefördert. Der riesige Bedarf der chemotechnischen Großindustrie wird fast ausschließlich durch *3. bergmännische Steinsalzproduktion* gedeckt: Die Steinsalzlager mit rd. 9% Verunreinigung durch Ton und Anhydrit ($CaSO_4$) werden im sog. Kammerfirstenbau abgebaut. Die Kammern stehen mit 15 m Höhe, 15 m Breite und 150 m Länge ohne jeden Ausbau. Das Haufwerk wird durch Großladegeräte (z. B. Bagger) auf Stetigförderer (z. B. Stahlgliederbänder) gebracht und von diesen zum Schacht gefördert. Bereits unter Tage wird das Rohgut einer „selektiven Zerkleinerung" unterworfen. Hierbei macht man sich den unterschiedlichen Zertrümmerungsfaktor von reinem Steinsalz und von Nebengestein zunutze. Wegen der geringeren Härte des Salzes wächst mit zunehmender Aufspaltung sein Anteil in den Siebfraktionen. Über Tage wird in einem weiteren Aufbereitungsprozeß, der im wesentlichen auf den voneinander abweichenden spezifischen Gewichten der einzelnen Mineralkomponenten beruht, ein Reinheitsgrad erzielt, der dem des Kochsalzes fast gleichkommt.

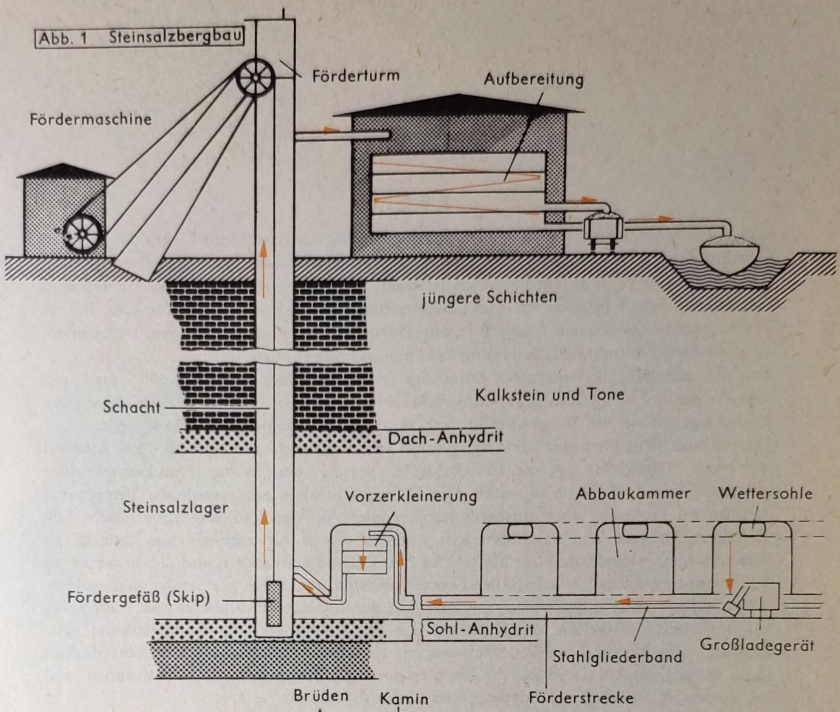


Abb. 1 Steinsalzbergbau

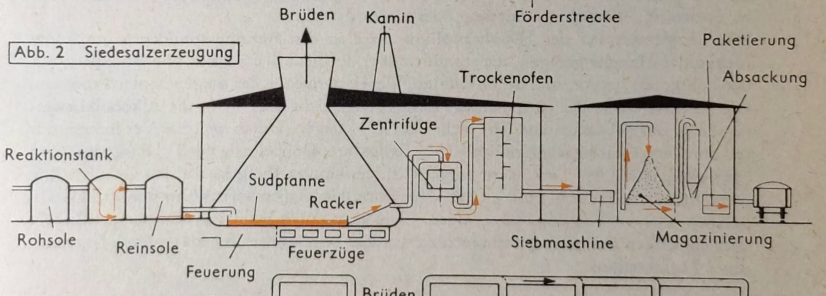


Abb. 2 Siedesalzerzeugung

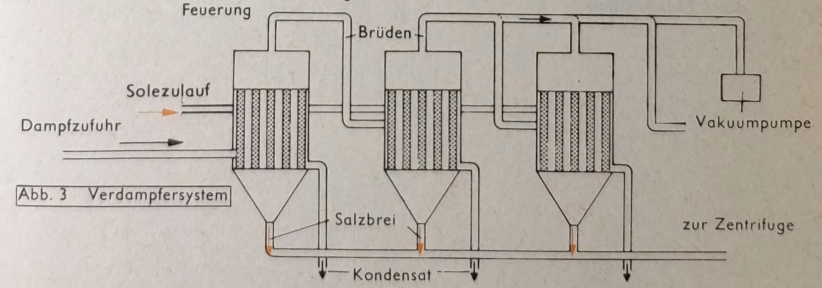


Abb. 3 Verdampfersystem

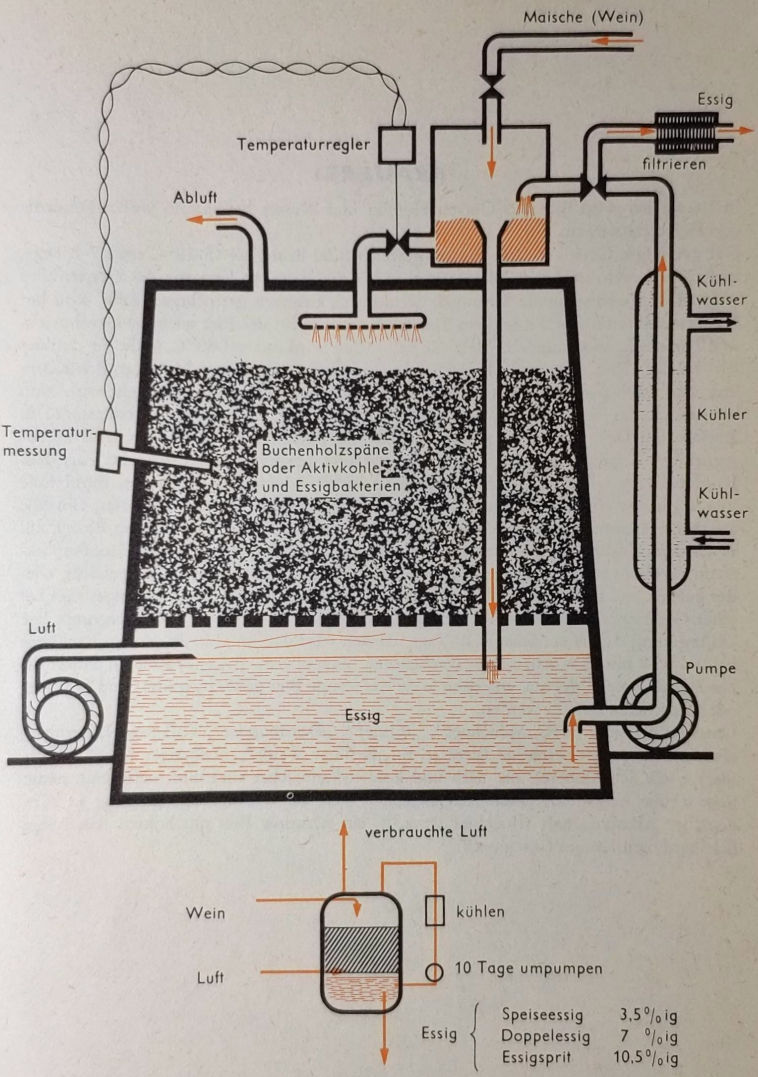
ESSIG

Essig ist eine fünf- bis zehnprozentige wäßrige Lösung der Essigsäure. Er enthält daneben geringe Mengen natürlicher Farb-, Duft- und Geschmackstoffe. Als saures Gewürz- und Genußmittel ist er seit Jahrtausenden bekannt. Er dient zum Säuern von Speisen und Getränken, zum Konservieren von Lebensmitteln und in Form der durch Destillation gewinnbaren wasserfreien Essigsäure zur Herstellung von Arzneimitteln, Farbstoffen, Riechstoffen, Kunststoffen, Schädlingsbekämpfungsmitteln usw.

Der mengenmäßig bedeutendere Anteil des Essigs wird biochemisch durch Vergärung von Äthylalkohol mit Hilfe der Essigbakterien hergestellt. Nur ein kleiner Anteil des Essigs stammt aus mit Wasser verdünnter, synthetisch erzeugter reiner Essigsäure.

Herstellung: Ein Gemisch aus Äthylalkohol und Wasser mit weniger als 15% Alkohol wird mit Nährstoffen für die Essigbakterien versetzt und in sog. Rundpumpbildner gepumpt. Dort wird das Gemisch (die Maische) bei konstant geregelter Temperatur ständig im Kreislauf über Buchenholzspäne oder Aktivkohlefüllungen verrieselt. Die Behälterfüllung ist mit Essigbakterien besiedelt, die in Anwesenheit von Luft durch Enzyme den Äthylalkohol der Maische in Acetaldehyd verwandeln und diesen weiter zu Essigsäure oxydieren. Wie bei allen Lebensprozessen, sind bei dieser biochemischen Herstellungsweise die äußeren Bedingungen wie die Reinheit der Maische und Nährstoffe, der Luft und der Gefäße, die Konstanz der Temperatur und der Konzentration sehr wichtig. Als Rohstoff werden Melassesprit, Holzzuckersprit, Wein, Bier, Malzalkohol oder Obstalkohol verwendet, die die Geschmacksrichtung des Essigs bestimmen und zu Spritessig, Weinessig, Malzessig oder Obstessig führen.

Die Temperatur bei der Essigherstellung wird in den Rundpumpbildnern durch die Menge der Maische geregelt, die stündlich über die bioaktive Schicht (die Holzspäne mit den Bakterien) strömt, und durch Kühlung der Hauptmenge des umgepumpten Produkts. Die Konzentration des entstehenden Essigs steigt nicht über 14%, die Alkoholkonzentration in der Frischmaische darf nicht über 15% liegen. Durch weiteres Verdünnen mit reinem Wasser wird Essigsprit mit 10,5% Essigsäure, Doppelessig mit 7% Essigsäure und Speiseessig mit 3,5% Essigsäure hergestellt. Verdünnter Essig ist für den Genuß völlig ungefährlich, wenn er in Holz-, Glas- oder Porzellangefäßen aufbewahrt wird. In Metallgefäßen können sich giftige Salze bilden. Essig kann durch Befall mit den unappetitlichen, aber ungiftigen Essigälchen unbrauchbar werden. Man schützt ihn davor durch Lagerung unter Luftabschluß.



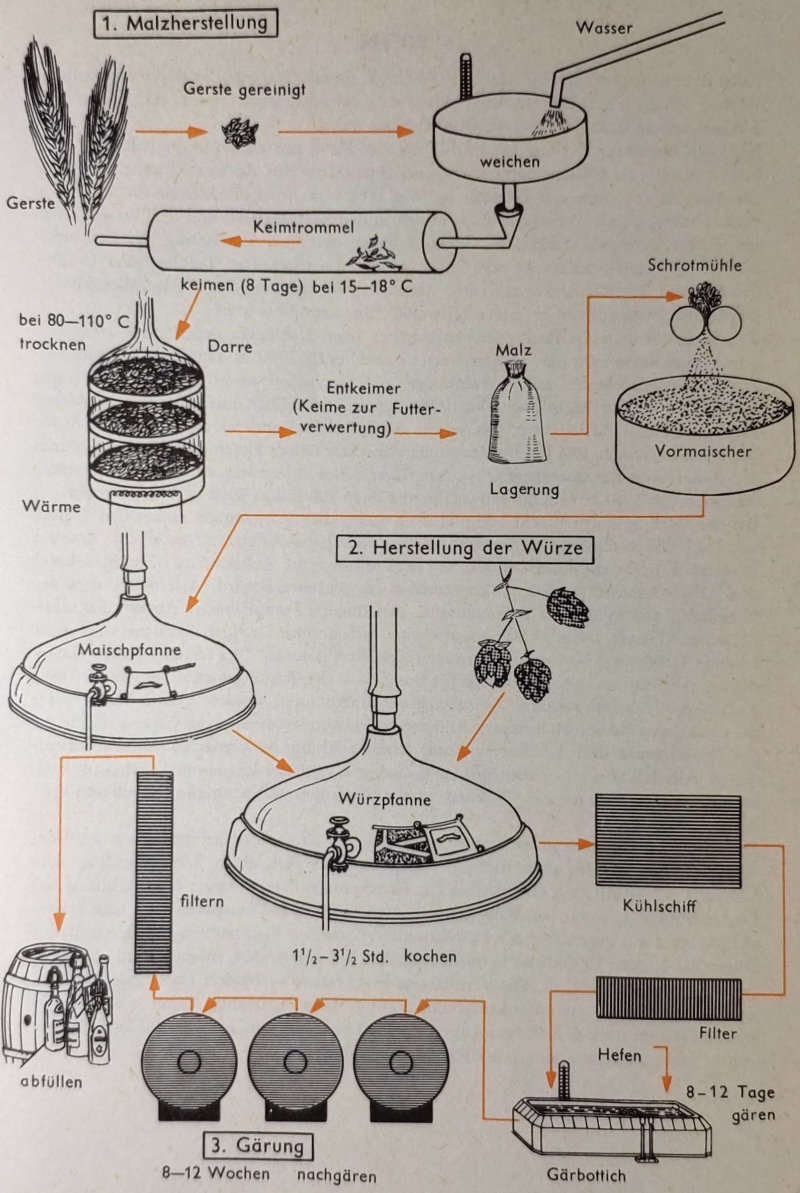
Prinzip der Essigherstellung

BRAUEREI

In Brauereien wird Bier aus Gerste, Hopfen und Wasser hergestellt, wobei Fermente und Hefen mitwirken.

Gut gereinigte Gerste wird in Wasser geweicht und keimt bei 15–18°C etwa 7–8 Tage, wobei der hervorbrechende Blattkeim halb bis dreiviertel so lang wie das Gerstenkorn wird. Das so entstehende Grünmalz wird durch Erhitzen getrocknet, dabei wird der Keimprozeß unterbrochen und ein Teil des Kornes in für das Bier wichtige Geschmack- und Farbstoffe umgewandelt. Malz für helles Bier wird nur auf 80°C, Malz für dunkles Bier bis auf 110°C „gedarrt". In der Darre verliert das getrocknete Malzkorn den Keimling. Das Darrmalz wird gereinigt, geschrotet und mit Wasser gemischt (maischen). Nun verwandelt das beim Keimprozeß entwickelte Ferment Amylase die Gerstenstärke in Zucker und Dextrin. Die entstandene malzhaltige, verzuckerte Flüssigkeit wird im sogenannten Hopfenkessel mit Hopfen versetzt und 1,5–3,5 Stunden gekocht. Aus dem Hopfen treten wichtige Geschmackstoffe (Aromen, ätherische Öle, Harze, Bitterstoffe u. v. a.) in die entstehende Bierwürze über, Kleinlebewesen werden abgetötet, Eiweiße ausgefällt. Aroma, Geschmack und Haltbarkeit des Biers hängen von diesem Prozeß ab. Nach dem Kochen wird die entstehende „Würze" von den Rückständen (Hopfenrückstand, Trübungen) getrennt, in großen Kühlschiffen schnell auf 5–10°C abgekühlt, wieder geklärt und in Gärbottiche gefüllt. Nach Zusatz von Hefe wird untergäriges Bier bei einer Gärtemperatur von 5–10°, obergäriges Bier bei 10–18° bzw. 25°C vergoren. Die Untergärung dauert zunächst 8–10 Tage, danach wird das Jungbier in großen Behältern bei 0–1°C 8 bis 12 Wochen einer Nachgärung unterworfen. Bei Spezialbieren dauert die Nachgärung viele Monate, erst dann kann das fertige Bier gefiltert, geklärt und in Fässer oder Flaschen abgefüllt werden.

Untergärige Biere (z. B. „Münchner", „Pilsner", „Dortmunder", Voll- und Lagerbiere) sind haltbarer als obergärige Biere (z. B. „Berliner Weiße", „Leipziger Gose" [Weißbier], viele Schankbiere), die herb und kohlensäurereicher sind und meist eine natürliche Trübe haben. Die Biere unterscheiden sich im Würzegehalt (Angabe in Graden), im Alkoholgehalt (Bockbier ist z. B. ein schweres Bier mit hohem Alkoholgehalt) und natürlich im Geschmack.


1. Malzherstellung
Wasser
Gerste gereinigt
Gerste
weichen
Keimtrommel
keimen (8 Tage) bei 15—18° C
Schrotmühle
bei 80—110° C
trocknen
Darre
Malz
Entkeimer
(Keime zur Futter-
verwertung)
Vormaischer
Lagerung
Wärme
2. Herstellung der Würze
Maischpfanne
Würzpfanne
filtern
Kühlschiff
1½–3½ Std. kochen
Filter
Hefen
8–12 Tage
gären
abfüllen
3. Gärung
8—12 Wochen nachgären
Gärbottich

WEIN

Nach dem deutschen Weingesetz von 1930 ist Wein ein Getränk, das durch alkoholische Gärung aus dem Saft der frischen Weinbeere gewonnen wird; Apfelwein, Beerenwein, Rhabarberwein u. a. sind nur weinähnliche Getränke.

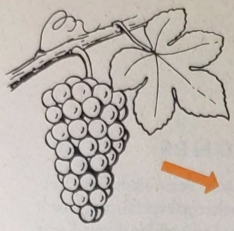
Die nach beendeter Reifung im Herbst mit der Hand geernteten und sortierten Weinbeeren werden zu Maische zerquetscht oder zermahlen. Zur Rotweinbereitung wird auf der Maische vergoren, zur Herstellung von Weißwein wird die Maische in der Kelter (einer Presse) durch Abpressen unter Druck in den Traubenmost und den Trester (Hülsen, Kerne, Kämme, Markzellen, Stiele, Schalen) getrennt. Aus 100 kg Trauben erhält man 65–67 Liter Traubensaft oder Most. In Most aus gereiften Trauben sind 15–20% Frucht- und Traubenzucker enthalten, daneben Fruchtsäuren, Farbstoffe, Mineralsalze, Gerbstoffe, Stickstoffverbindungen (Eiweiße), Bukettstoffe u. a. m.

Der Most wird in Gärfässer, Zementbehälter oder Stahltanks gefüllt, mit Hefe und schwefliger Säure oder deren Salzen versetzt und bei 15–20° C ca. acht Tage langsam vergoren. Die gezüchteten reinen Weinhefen (z. B. Saccharomyces ellipsoides) verdrängen schädlich wirkende Organismen, die die Weingärung schließlich durch Bildung merklicher Mengen Fuselöl, Milchsäure, Essigsäure, Methanol und anderer unerwünschter Stoffe verfälschen können. Die Bekämpfung unerwünschter wilder Hefen und Pilze wird durch den Zusatz von Reinzuchthefe und schwefliger Säure unterstützt, wobei schon Konzentrationen von 5 bis 10 Gramm schwefliger Säure in 100 Litern Most wirksam werden.

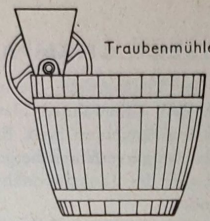
Bei der Gärung läuft ein sehr komplizierter chemischer Vorgang ab. Schon Gay-Lussac hat 1815 den vereinfachten Reaktionsverlauf richtig beschrieben: Aus einem Molekül Invertzucker entsteht durch Mitwirkung der Hefefermente Kohlensäure (zwei Moleküle) und Äthylalkohol (zwei Moleküle), wobei etwas Wärme frei wird. Allerdings ist es der Forschung erst in unserer Zeit gelungen, den äußerst komplizierten Ablauf der alkoholischen Gärung völlig richtig zu erfassen: Nach unserer heutigen Kenntnis sind nicht lebende Hefen, sondern deren Gärungswirkstoffe (mehr als 10 Fermente sowie Cofermente, Aktivatoren) verantwortlich für den Zerfall des Zuckermoleküls in Alkohol und Kohlensäure, wobei mehrere Zwischenstufen durchlaufen werden (zuerst Veresterung des Zuckers zu Phosphorsäureester, Bildung der Phosphorsäureester des Glycerinaldehyds, des Dioxiacetons und der Glycerinsäure; ferner Spaltung zu Brenztraubensäure, Acetaldehyd, Äthylalkohol). Der ausgegorene Wein lagert nach der stürmischen Gärung je nach seiner Beschaffenheit mehrere Wochen, macht eine langsame Nachgärung durch und klärt dabei ab.

Die abgestorbenen Hefezellen sinken zu Boden. Am Ende der Nachgärperiode wird der Wein abgehebert oder abseperiert, in ein gereinigtes Faß, einen Zementbehälter oder Stahltank umgefüllt, wo er noch bis zur Flaschenreife lagern kann; die Abfüllung auf Flaschen erfolgt, wenn der Wein seinen geschmacklichen Höhepunkt und eine ausreichende Stabilität gegenüber der Lufteinwirkung und den Nachtrübungen erreicht hat.

Durch die Gärung sind im Wein 80–120 g/l Alkohol entstanden, entsprechend ist Invertzucker verbraucht worden. Die verbliebene Fruchtsäure verhindert eine schädliche Zersetzung und macht Wein unter Luftabschluß einige Jahre lagerfähig. Guter Wein mundet im allgemeinen nach 6–8jähriger Lagerung am besten, mit noch längerer Lagerung verliert er mehr oder weniger wieder seinen edlen Geschmack.

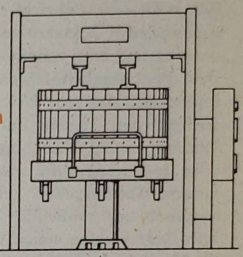


Traube



Traubenmühle

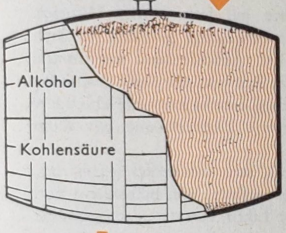
Maische



Presse

Trester zur Weiterverarbeitung

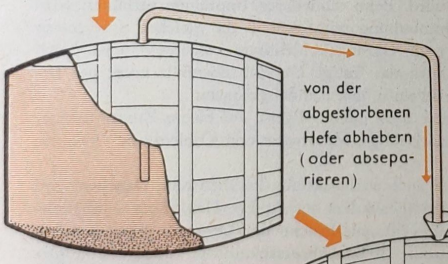
CO_2 entweicht



Alkohol

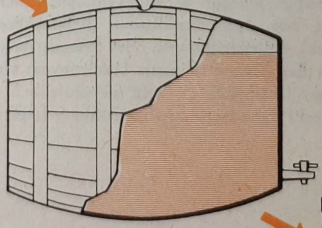
Kohlensäure

Gärfaß



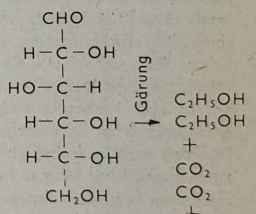
von der abgestorbenen Hefe abhebern (oder absepa-rieren)

absitzen lassen



klären, reifen lassen, vorfiltern, abfüllen

Gärungsvorgang:



$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2 + \text{Wärme}$

SCHAUMWEIN (SEKT, CHAMPAGNER)

Schaumwein ist stark kohlensäurehaltiger Traubenwein, der nach verschiedenen Verfahren hergestellt werden kann: nach dem altbewährten Flaschengärverfahren, nach dem Tankgärverfahren und nach dem Imprägnierverfahren. In Deutschland wird zur Zeit noch sehr viel Sekt nach dem Flaschengärverfahren hergestellt. Wegen des stark angestiegenen Sektverbrauchs gewinnt aber das Tankgärverfahren immer mehr an Bedeutung und wird zunehmend angewendet.

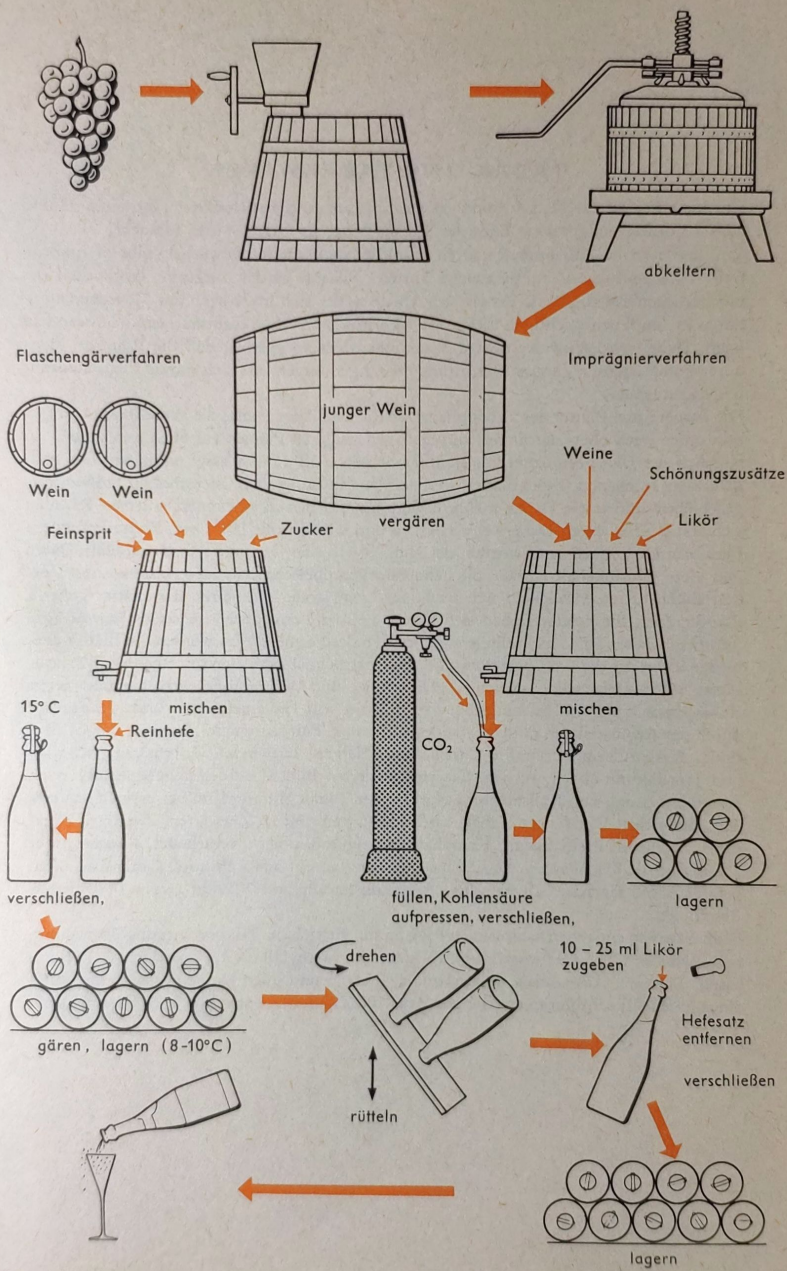
Beim Flaschengärverfahren wird junger Wein (im besten Falle aus der blauen Burgundertraube) mit anderem Wein verschnitten, gefiltert und nach der Vergärung mit 2–4 Gewichtsprozent reinem Zucker, reiner Gärhefe und – wenn nötig – mit Weindestillat versetzt, bis ein Alkoholgehalt von 11 Vol.-% erreicht ist. Die gleichmäßige Mischung wird in druckgeprüfte starkwandige Flaschen gefüllt, die mit einem wenigstens 60 mm langen Walzenkorken verschlossen, verdrahtet und bei 15 bis 18° C einige Monate vergoren und schließlich bei 8–10° C ein bis drei Jahre gelagert werden. Danach wird jede Flasche einige Wochen täglich durch drehende Bewegung gerüttelt, bis sich der gesamte Heferückstand auf dem Korken abgesetzt hat. Anschließend werden die Flaschen einige Zeit auf dem Kopf stehend gelagert, bis der Rohsekt glanzhell geworden ist. Sodann werden die Flaschen geöffnet, wobei der Heferückstand herausgeschleudert wird, und danach wieder mit 10–25 ml Likör (konzentrierte Zuckerlösung mit Wein und Bukettstoffen) aufgefüllt.

Nach dem Zuckergehalt unterscheidet man herben (brut), sehr trockenen (extra dry, extra sec), trockenen (dry, sec) Sekt, der 0,5–2% Zucker enthält, von halbsüßem und süßem Sekt, der 4–16% Zucker enthalten kann. Die mit Likör versetzte, ausgegorene Mischung wird wieder gut verschlossen und verdrahtet und weitere Monate gelagert, ehe sie zum Verbrauch freigegeben wird. Beim schnelleren Imprägnierverfahren wird geeigneter Wein oder geeignete Weinmischung mit Likör in die gleichen druckfesten Flaschen gefüllt, wobei gleichzeitig reine Gärungskohlensäure aufgepreßt wird. Nach einer ausreichend langen Lagerung wird das fertige Getränk ebenfalls unter der Bezeichnung Sekt, Schaumwein oder Perlwein in den Handel gebracht.

Schaumwein, dessen Kohlensäuregehalt ganz oder teilweise auf einem Zusatz fertiger Kohlensäure beruht, muß mit der Bezeichnung „Mit Zusatz von Kohlensäure" gekennzeichnet sein.

Neben weißem und rotem Sekt gibt es auch rosa Sekt aus Traubenwein. Daneben wird aber auch Schaumwein aus Fruchtwein (besonders aus Apfel-, Heidelbeer-, Johannisbeer- und Birnenwein) erzeugt. Schaumweine aus Frucht- und Obstwein können neben der Bezeichnung wie Apfelschaumwein, Johannisbeerschaumwein auch die Worte Fruchtschaumwein, Obstschaumwein oder Beerenschaumwein tragen. Das Wort „Sekt" ist ausschließlich dem Schaumwein aus Traubenwein vorbehalten.

Die Bezeichnung „Champagner" steht ausschließlich den Erzeugnissen zu, die nach französischem Recht diese Herkunftsbezeichnung tragen dürfen.


abkeltern
Flaschengärverfahren
Imprägnierverfahren
junger Wein
Wein
Wein
Feinsprit
Zucker
vergären
Weine
Schönungszusätze
Likör
15° C
mischen
Reinhefe
mischen
CO_2
verschließen,
füllen, Kohlensäure
aufpressen, verschließen,
lagern
gären, lagern (8-10°C)
drehen
rütteln
10 – 25 ml Likör
zugeben
Hefesatz
entfernen
verschließen
lagern

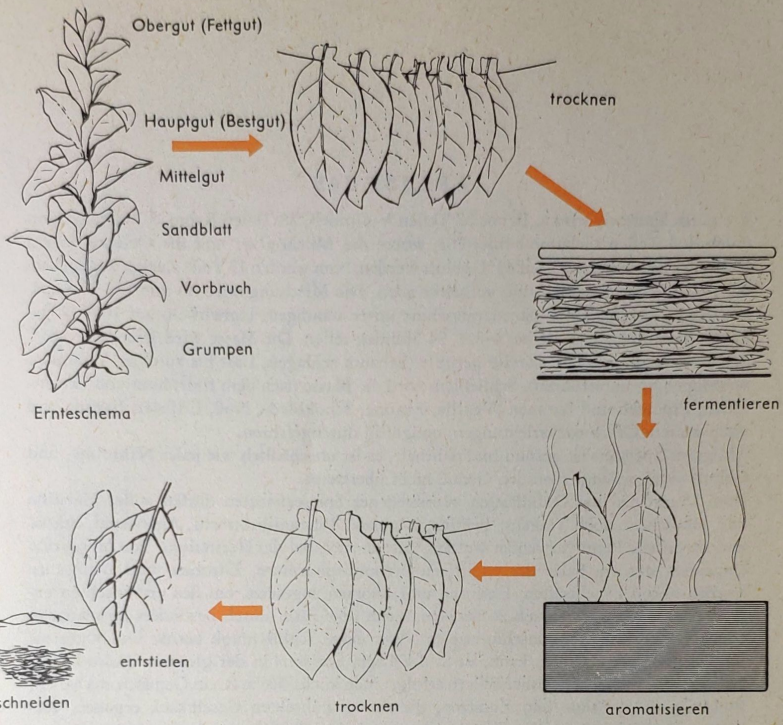
TABAK UND TABAKWAREN

Etwa seit Beginn des 17. Jahrhunderts wird in Europa das getrocknete, fermentierte und zu Tabakwaren verarbeitete Blatt der Tabakpflanze als Genußmittel geraucht.

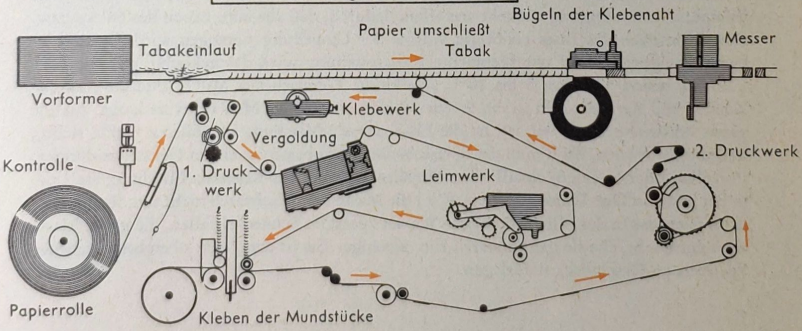
Von den etwa 60 Tabakpflanzenarten (Familie Nachtschattengewächse) gibt es nikotinfreie, nikotinarme und nikotinreiche Sorten. Nikotin ist der wirksame Bestandteil des rauchfertigen Tabaks, es ist ein giftiges Alkaloid, das sich im Körper des Menschen allerdings in die lebenswichtigen Vitamine Nikotinsäure und Nikotinsäureamid umwandeln kann. Dabei wird aber der übrige Vitaminhaushalt so gestört, daß die Raucher meist unter komplizierten Vitaminversorgungsstörungen leiden, die sich durch Vitaminzufuhr beseitigen lassen.

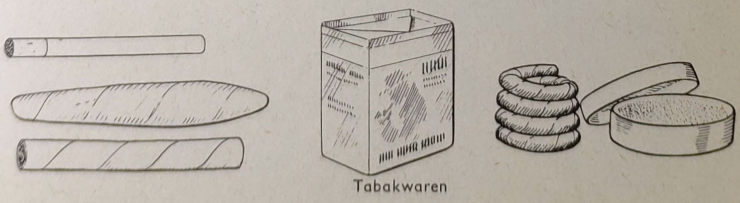
Die ausgereiften Blätter der Tabakpflanze werden nach der Ernte, die in mehreren Gängen von unten nach oben stattfindet, an schattigen, zugigen Plätzen auf Schnüren gereiht so lange an der Luft getrocknet, bis sie nur noch etwa 12–15% Wasser enthalten. Die gelb gefärbten trockenen Tabakblätter werden danach in großen, meterhohen Stößen aufgeschichtet und unter Druck mehrere Tage bis Wochen in trockenen, warmen Räumen sich selbst überlassen. Dabei schwitzen sie und werden mit Hilfe von Bakterien einem Fermentationsprozeß unterworfen, der ähnlich wie eine Gärung (s. S. 466) abläuft. Dabei geht der Nikotingehalt zurück, die beim Rauchen übelschmeckenden Aminosäuren werden abgebaut; es entwickeln sich wichtige Aromastoffe, die Stärke der Blätter geht in Zucker über, die Blätter färben sich braun. Bei der Fermentation entsteht Wärme (die Temperatur darf 50°C nicht übersteigen). Nach der Fermentation werden die Blätter entweder sofort an der Luft einzeln aufgehängt getrocknet oder noch mit heißen alkoholischen Soßen aromatisiert, welche Zucker, Salze und Aromastoffe enthalten und deren Zusammensetzung oft geheimgehalten wird. So soll Havannageruch und -geschmack durch das Aromatisieren mit einer Soße aus Arnika, Baldrianwurzel, Ingwer, Angosturarinde, Kaskarillarinde, Vanille, Muskatnuß, Nelken, Iriswurzel, Tolubalsam, Kognak und Jamaikarum erzielt werden. Die aromatisierten Blätter werden gegebenenfalls noch mit einer Lösung von Kalisalpeter besprüht (der Tabak glimmt dann besser) und schließlich getrocknet. Der fertige Tabak wird geschnitten und zu Zigaretten, Zigarren, Zigarillos, Stumpen, Pfeifentabak, Kautabak, Schnupftabak usw. verarbeitet. Rauchfertiger Tabak enthält 8% Wasser, die Trockensubstanz besteht aus Cellulose, Gerbsäure, Fett, Pektinstoffen, Harzen, Säuren, 20% Aschesubstanzen und Nikotin sowie 16 weiteren Alkaloiden.

Beim Rauchen entstehen zahlreiche giftige Stoffe, die sich der Nikotinwirkung überlagern, z. B. Blausäure, Schwefelwasserstoff, Kohlenoxid, Methylalkohol, Formaldehyd, Pyridinbasen, Phenole, Ammoniak, Methylamine, Pyrrole und auch Kohlenwasserstoffe, allerdings in jeweils sehr geringen Mengen. Aus 100 Zigaretten entstehen 5–10 Gramm Teer.



Schema der Zigarettenfabrikation



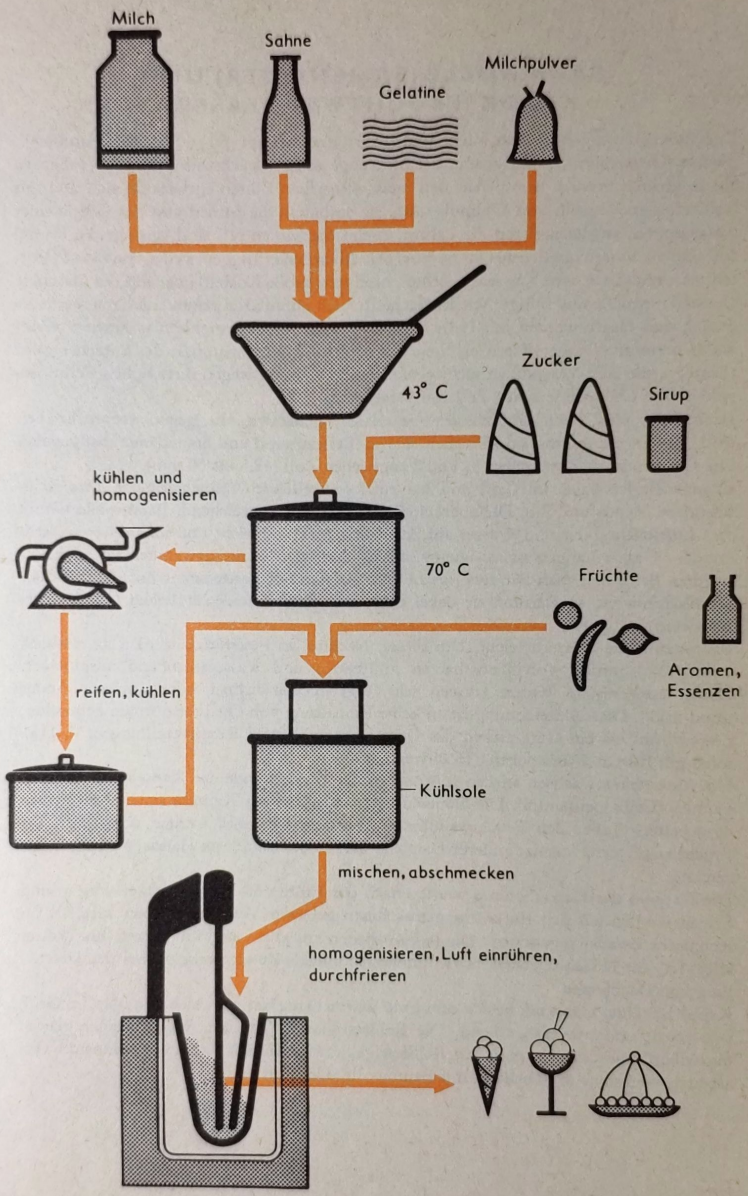


SPEISEEIS

Ein gutes Speiseeis wird z. B. aus 52 Teilen Vollmilch, 28 Teilen Rahm, 5 Teilen Magermilch, 0,3 Teilen Gelatine hergestellt, wobei das Milchpulver und die Gelatine in der Vollmilch durch Erhitzen auf 43 °C gelöst werden. Nun werden 15 Teile Zucker zugegeben, der bei 70 °C in der Mischung aufgelöst wird. Die Mischung wird 30 min bei 70 °C pasteurisiert, auf der Homogenisiermaschine unter ständigem Umwirbeln auf 10 °C abgekühlt; darauf läßt man sie bei 4–5 °C 24 Stunden reifen. Die Masse wird jetzt bei –18 °C gefroren, dabei wird sie ständig gerührt (Schaum schlagen, Luft bis zu einer Volumenverdoppelung unterrühren). Schließlich wird die Masse nach dem Einrühren von Fruchtsäften, Früchten und Aromen (Vanille, Zitrone, Schokolade, Nuß, Erdbeer, Banane und viele weitere Geschmacksrichtungen) endgültig durchgefroren.

Ein gutes Speiseeis ist gesund und nahrhaft, es ist unschädlich wie jedes Nahrungs- und Genußmittel, solange man den Genuß nicht übertreibt.

Zum Verdicken und Stabilisieren verschiedener Speiseeissorten dürfen außer Gelatine und ähnlichem noch Tragant, Pektine, Alginate, Johannisbrotmehl, Agar-Agar, Stärke und natürliche Fette verwendet werden, wie sie auch bei der Herstellung von Margarine eingesetzt werden. Salze der ungiftigen Pyrophosphorsäure, Zitronen- und Weinsäure werden neben Fruchtsäften, Essenzen und Aromen zugesetzt, um den erwünschten erfrischenden Wohlgeschmack zu erzielen, wenn man nicht durch besonders aromatische Früchte schon das Gewünschte erreicht. Wer einen Kühlschrank besitzt und Kunsteis im Tiefkühlfach erzeugen kann, ist in der Lage, Speiseeis in der gleichen Weise herzustellen, wie dies bei den Eisherstellern erfolgt: Man kocht sich z. B. ein Gemisch aus Milch, Puddingpulver, Sahne und Zusätzen, die den gewünschten Geschmack ergeben, zerkleinert das Kunsteis aus dem Eisschrank und mischt 100 Teilen gut zerkleinertem Kunsteis 33 Gewichtsteile Kochsalz zu. Diese Mischung kühlt sich auf ca. –21 °C ab. Die Temperaturerniedrigung entsteht vor allem dadurch, daß die zum Lösen des Salzes bzw. zum Schmelzen des Eises benötigte Wärme der Umgebung entzogen wird. In diese in einem geeigneten Topf untergebrachte Kältemischung wird das gekochte und im Tiefkühlfach schon auf etwa 5 bis 10 °C abgekühlte Gemisch aus Milch, Pudding, Sahne, Zucker und Aromastoffen in ein zweites Gefäß eingesetzt. Man rührt so lange, bis die ganze Masse durchgefroren ist. Ist die Eis-Kochsalz-Mischung im äußeren Gefäß richtig hergestellt worden, dann muß die Speiseeismasse (am besten in einem Gefäß aus dünnem Porzellan oder in einem emaillierten Metalltopf in der Eis-Kochsalz-Mischung stehend) in der gewünschten Weise erstarren. Wird die Masse beim Gefrieren nicht ständig gerührt, dann friert das in der Milch enthaltene Wasser zuerst zu Schneekristallen, die ganze Masse wird entmischt, ehe sie ganz erstarrt. Ein derartiges Eis ist dann dem oben beschriebenen Speiseeis im Geschmack unterlegen.


Milch
Sahne
Gelatine
Milchpulver
43° C
Zucker
Sirup
kühlen und
homogenisieren
70° C
Früchte
Aromen,
Essenzen
reifen, kühlen
Kühlsole
mischen, abschmecken
homogenisieren, Luft einrühren,
durchfrieren

BAUMWOLLE (SAMENFASER) UND KAPOK (FRUCHTWANDFASER)

Der Anteil der *Baumwolle* an allen Textilrohstoffen beträgt 50–60%. Die Baumwollpflanze (Gossypium), eine Gattung der Malvengewächse, wächst in wenigen Wochen zu einem kleinen Strauch heran. Aus den meist sattgelben Blüten entwickeln sich drei- bis fünffächerige Kapseln von Walnußgröße. Sie enthalten die Samen von der Größe einer Kaffeebohne; an ihnen sitzen die Fasern. Wenn die Samen reif sind, springt die Kapsel auf, und die Fasern quellen aus ihr hervor. Das Abernten erfolgt entweder von Hand (Vorteil: es werden nur reife Kapseln geerntet, Nachteil: große Kosten) oder mit der Maschine (Vorteil: schnelle und billige Arbeit, Nachteil: auch unreife Kapseln werden mitgeerntet). Samen und Haare werden mit Hilfe von Säge- oder Walzenegreniermaschinen voneinander getrennt. Lange Fasern ergeben das wertvolle Spinnmaterial, die kurzen Fasern (Linters), die zum Verspinnen nicht geeignet sind, werden wegen ihres hohen Cellulosegehaltes zu Chemiefasern aus Zellstoff verarbeitet.

Baumwolle wird nach Güteklassen (Standards) gehandelt, die genau vorgeschrieben sind. Für die Einteilung sind Feinheit, Farbe, Reifezustand und Stapellänge maßgebend. Die Länge schwankt zwischen ½ und 2 englischen Zoll (12,5 bis 50 mm).

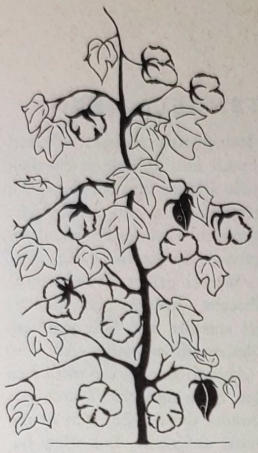
Baumwolle ist weich im Griff und hat zufriedenstellende Wärmehaltigkeit. Ihre Reißfestigkeit ist gut und ihre Dehnbarkeit für Textilwaren ausreichend. Baumwolle nimmt viel Luftfeuchtigkeit und Wasser auf, kann rein weiß gebleicht und indanthren gefärbt werden. Gegen Laugen ist sie unempfindlich und kann scharf gewaschen und gekocht werden. Behandelt man Baumwollgarne oder -gewebe in gestrecktem Zustand mit kalter Natronlauge, so erhalten sie dabei einen dauerhaften seidenähnlichen Glanz (merzerisieren).

Baumwollstoffe knittern leicht. Um diesen Nachteil zu beseitigen, werden sie vielfach durch Einlagerung von Kunstharzen knitterarm und wasserabstoßend ausgerüstet. Derart ausgerüstete Waren können wie folgt gekennzeichnet sein: „no iron" oder „non iron". Diese Bezeichnung ist an keine Einhaltung von Qualitätsnormen gebunden; „rapid iron" ist ein Gütezeichen des Gütezeichenverbandes Textilveredlung e. V. Dasselbe gilt für das Gütezeichen „Hochveredelt".

Die *Kapokfasern* wachsen an den Innenseiten der Fruchtwände der Kapseln des Kapokbaumes (Ceiba pentandra). Die Samenkörner im Innern der Kapseln sind in die Fasern eingebettet. Außer den Fruchtwandhaaren des Kapokbaumes werden u. a. auch die Fruchthaare verschiedener anderer Bombax- und Chorisiaarten im Handel als Kapok bezeichnet.

Die Kapseln des Kapokbaumes werden nach der Ernte von Hand geöffnet. Fasern und Samen werden auf den Entkörnungsmaschinen getrennt. Aus dem Samen wird Öl für technische Zwecke gewonnen. Die Fasern dienen vor allem als Füllmaterial für Polster aller Art, für Kissen, Decken, Schwimmwesten und als Zusatzwerkstoff bei der Herstellung von Dachpappe.

Kapok ist seidig glänzend, besitzt sehr gute Wärmehaltigkeit, ist weich und glatt im Griff, sehr leicht und wasserabstoßend. Die Reißfestigkeit ist gering. Wegen seiner glatten Faseroberfläche und der geringen Reißfestigkeit wird Kapok kaum als Spinnstoff verarbeitet, höchstens in Mischung mit Baumwolle oder Zellwolle.



Baumwollstrauch

geschlossene Samenkapsel

aufgesprungene Kapsel

Samen mit Haaren

Zweig des Kapokbaumes mit Früchten

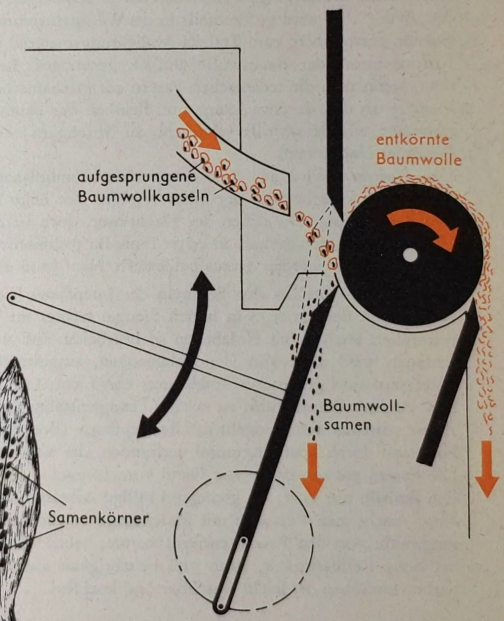
a

b

Samenkörner

a) geschlossen
b) geöffnet

Fruchtkapsel des Kapokbaumes



Trennen von Samen und Haaren auf der Walzenegreniermaschine

FLACHS, HANF, JUTE, RAMIE (STENGELFASERN)

Die *Leinen-* oder *Flachsfaser* wird aus den Stengeln der Flachspflanze (Linum usitatissimum) gewonnen. Bei der Ernte werden die Stengel ausgerauft und in kleinen Büscheln zur Nachreife auf dem Feld aufgestellt. Anschließend werden Blätter und Samenkapseln durch die Riffeln (Abb. 1 und 2) von den Stengeln abgestreift. Aus den Samen wird Leinöl gewonnen. Durch den Einfluß von Pilzen und Bakterien wird der Pflanzenleim, der den Bast mit der Rinde und dem Holz verbindet, abgebaut. Zu diesem Zweck wird das Flachsstroh auf dem Feld ausgelegt (Taurotte) oder in Wasser gelegt (Wasserrotte). Der getrocknete Flachs wird gebrochen. Auf der Handbreche (Abb. 3) oder auf der Maschinenbreche (Abb. 4) wird der Holzteil der Stengel zerstört und fällt größtenteils als Schäben heraus; die Bastbündel werden frei und bleiben unbeschädigt. Auf dem Handschwingstand (Abb. 5) oder auf der Schwingturbine (Abb. 6) werden die restlichen Schäben aus dem Brechflachs entfernt, man erhält so den Schwingflachs. Durch das anschließende Hecheln (Abb. 7 und 8) werden die Bastbündel der Länge nach in die technisch verwendbaren spinnfertigen Fasern (Hechelflachs) aufgeteilt. Bei allen beschriebenen Arbeitsgängen entstehen neben den langen Fasern auch kurze, wirre Fasern, das „Werg". Es wird größtenteils in der Werggarnspinnerei zu groben, ungleichmäßigen Garnen versponnen, zum Teil als Abdichtungsmaterial verwendet.

Kotonisiertes (der Baumwolle ähnlich gemachtes) Leinen oder Flockenflachs erhält man, wenn man die technischen Fasern auf mechanischem oder chemischem Wege zerkleinert, so daß sie etwa Länge und Feinheit der Baumwollfasern erhalten. Sie können nunmehr, wie Baumwolle vermischt, zu Mischgarn versponnen werden (bekannt als Gminder Halblinnen).

Die *Hanffaser* wird aus dem Stengel der Hanfpflanze (Cannabis sativa) gewonnen. Ernte und Ausarbeitung der Faser erfolgen wie beim Flachs. Auch die Eigenschaften entsprechen ungefähr denen der Flachsfaser, doch ist die Hanffaser gröber als diese. Hanffasern werden deshalb in erster Linie für technische Gewebe verwendet, auch Bindfäden und Seile werden daraus hergestellt. Hanf kann ebenfalls kotonisiert werden.

Die *Jutefaser* wird aus den Stengeln der Jutepflanze (Corchorus capsularis) gewonnen. Das Rotten der bis zu 3 m hohen Stengel erfolgt im Wasser. Im Wasser werden die rottereifen Stengel mit Holzbeilen so bearbeitet, daß der Holzteil zerbricht. Der Bastschlauch wird dann von Hand abgezogen, ausgewaschen und sorgfältig getrocknet. Jutefasern sind gegen die Einwirkung von Licht, Luft und Feuchtigkeit sehr empfindlich. Feuchte Wärme führt zu rascher Festigkeitsabnahme.

Ramie wird aus den Stengeln der Ramiepflanze (Boehmeria nivea) gewonnen. Holz und Bast sind durch Pflanzengummi verbunden, der sich durch Rotten nicht abbauen läßt. Die Fasern müssen daher von Hand vom Stengel abgezogen werden; der Anbau lohnt sich deshalb nur dort, wo genügend billige Arbeitskräfte zur Verfügung stehen (neuerdings macht man Versuche mit Maschinen). Nachdem in der Ramiespinnerei der Pflanzengummi von den Fasern entfernt wurde, haben diese seidenähnlichen Glanz. Ramie hat hohe Reißfestigkeit, kann viel Feuchtigkeit aufnehmen, läßt sich in leuchtenden Farben einfärben, ist leicht waschbar und kochfest.

Handverarbeitung:

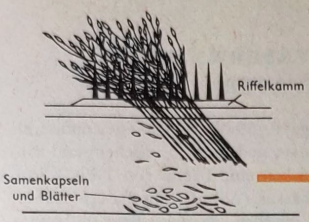


Abb. 1 Riffeln von Hand

Maschinelle Verarbeitung:

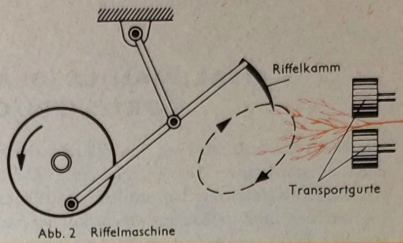


Abb. 2 Riffelmaschine

Rottung.
Trocknung

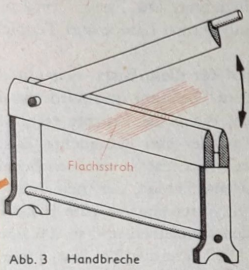


Abb. 3 Handbreche

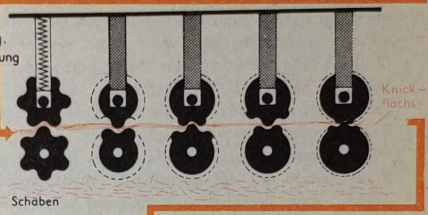


Abb. 4 Maschinenbreche

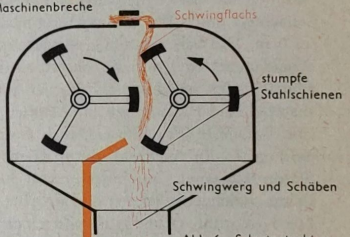


Abb. 6 Schwingturbine

Abb. 5
Handschwingstand

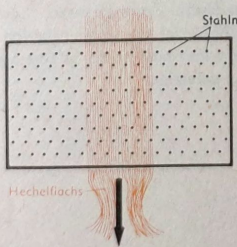


Abb. 7 Handhechel

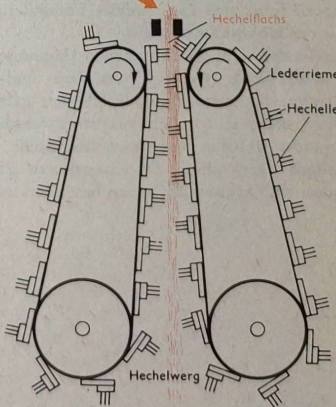


Abb. 8 Hechelmaschine

SISAL, MANILA (BLATTFASERN) UND KOKOS (FRUCHTFASER)

Die echte *Sisalfaser* wird aus den Blättern der Sisalagave (Agave sisalana) gewonnen, als deren Stammpflanze Agave rigida gilt. Die Sisalagave gedeiht in tropischem und subtropischem Klima. Die lanzettförmigen Blätter erreichen eine Länge von 1 bis 1,5 m. Sie wachsen unmittelbar aus einem kurzen Stamm heraus (Abb. 1). Die Fasern müssen aus den frisch geschnittenen Blättern ausgearbeitet werden, da diese bald in Fäulnis übergehen. Das Blattfleisch wird auf dem Raspador (Abb. 2) zerquetscht und abgeschabt; die letzten Reste werden mit Wasser weggeschwemmt. Die Fasern werden an Drähten aufgehängt und im Freien getrocknet. Aus Sisal werden Läufer und Teppiche, Schnüre, Taue und Netze gefertigt.

Die *Manilafaser* ist nach Manila, dem Hauptausfuhrhafen für diese Faser, benannt. Sie ist auch unter den Namen „Musahanf" und „Bananenhanf" bekannt und wird aus den Blättern einer Bananenstaude (Musa textilis) gewonnen, die keine Früchte trägt. Da diese Staude mit der Hanfpflanze nichts gemein hat, ist der viel gebrauchte Zusatz „Hanf" nicht gerechtfertigt. Aus den Wurzelstöcken der Musa textilis wachsen Scheinstämme. Sie bestehen, wie bei der Lauchpflanze, aus Blattscheiden, die ineinandergeschachtelt sind. Bei einem Durchmesser von etwa 50 cm erreichen sie eine Höhe bis zu 6 m. Die Scheinstämme werden kurz über dem Boden abgehauen und in die Blattscheiden zerlegt, die die Fasern enthalten (Abb. 3). Die Faserqualität der inneren Blattscheiden ist besser als die der äußeren. Seilgarne, Matten, Taue und Verpackungsmaterial sind Erzeugnisse aus Manila.

Die *Kokosfaser* (Fruchtfaser), auch Coir genannt, stammt von den Früchten der Kokospalmen (Cocos nucifera), die in allen tropischen Gebieten angebaut wird (Abb. 4). Ihr Stamm hat einen Durchmesser von 30–70 cm und erreicht Höhen bis zu 30 m. Da die Palme gleichzeitig Blüten und Früchte trägt, verteilt sich die Ernte über das ganze Jahr. Die Kokosnuß (Abb. 5) ist von einer braunen Außenhaut umschlossen, unter der eine 3–5 cm dicke Faserschicht liegt. Darunter folgt die steinharte Fruchtschale. In ihrem Innern folgt eine Lage weißes Fruchtfleisch, der verbleibende Hohlraum ist teilweise mit der Kokosmilch gefüllt.

Die Faserschicht wird mit einem Haumesser in mehrere Teile zerlegt. Die Teile werden in Brackwasser (Gemisch von Meer- und Flußwasser an den Mündungen der Flüsse) gerottet. Sie werden durch Klopfen getrennt; die Fasern werden dann getrocknet. Wegen ihrer sehr hohen Elastizität werden aus Kokosfasern Sprungmatten, Läufer, Teppiche, Bürsten und Besen hergestellt; auch als Füllmaterial für Polster finden sie vielfach Verwendung. Da Kokosfasern sehr leicht und widerstandsfähig gegen Meerwasser sind, werden aus ihnen besonders auch Schiffstaue gefertigt.

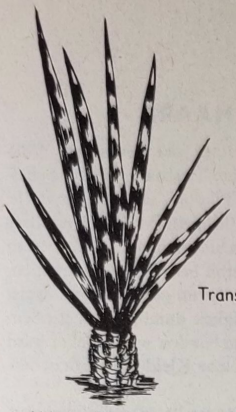


Abb. 1 Sisalagave

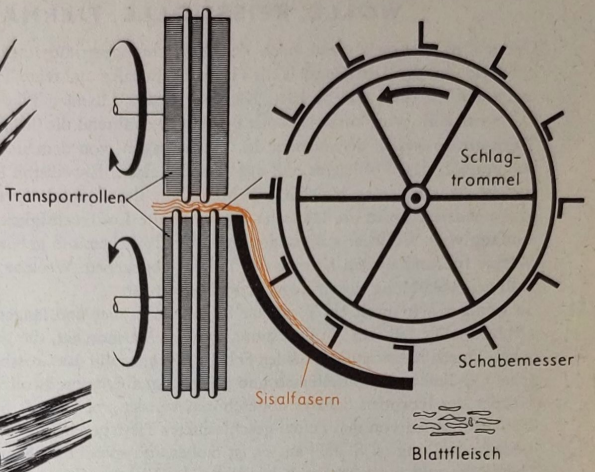


Abb. 2 Raspador

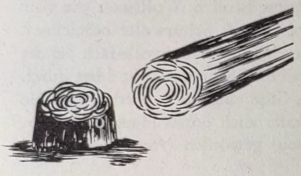


Abb. 3 Scheinstamm der Manilapflanze

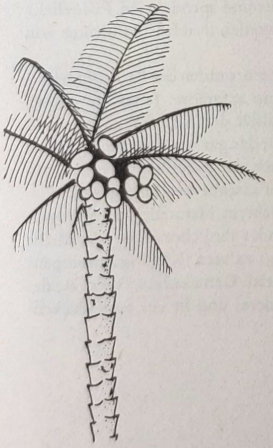


Abb. 4 Kokospalme mit Fruchtstand

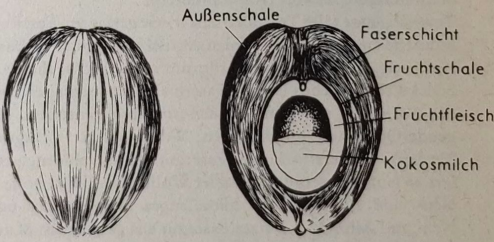


Abb. 5 Kokosnuß

WOLLE, REISSWOLLE, TIERHAARE

Unter *Wolle* versteht man nach den Bezeichnungsgrundsätzen der deutschen Wollindustrie und des Textilhandels die Haare des Schafes und feine Tierhaare, die der Schafwolle ähnlich sind, wie Mohär-, Kamel-, Alpaka-, Lama-, Vikunja- und Angorawolle. Die Schafwolle wird kurz als Wolle bezeichnet, während die übrigen, ihr gleichgestellten Tierhaare zusätzlich den Namen des Tieres tragen, von dem sie stammen. Abb. 1 zeigt den Aufbau des Wollhaares, das aus Keratin, einem Eiweißstoff besteht. Die Schuppenschicht ist von einer hauchfeinen Membran, der Epicuticula umgeben. Diese weist grobe Wassertropfen ab, läßt aber feinstverteilte Luftfeuchtigkeit durch, die in großem Umfang vom Wollhaar aufgesogen und zum Teil chemisch gebunden wird. Dabei wird Wärme frei und an den Körper des Trägers abgegeben. Wollene Kleidung schützt deshalb bei Abkühlung durch Regen vor Erkältungen.

Je weniger gekräuselt ein Wollhaar ist, um so gröber und länger ist es und umgekehrt (Abb. 2). Die feinsten Wollen stammen vom Merinoschaf, die gröbsten vom Cheviotschaf. Durch Kreuzung der beiden Schafrassen entstand das Crossbredschaf (Kreuzzuchtschaf), es liefert die mittelfeinen und mittellangen Crossbredwollen. Wollhaare, die vom Körper des lebenden Schafes abgeschoren wurden, werden als Schurwolle bezeichnet. Hautwolle wird von den Fellen geschlachteter Tiere geschoren. Gerberwolle fällt bei der Lederherstellung (s. S. 452) an, sie ist rauher und spröder als Schurwolle und hat durch chemische und mechanische Behandlung der Felle an Güte eingebüßt. Sterblingswolle stammt von verendeten Tieren. Durch die Krankheit oder auch durch Hungerperioden sind die Haare in ihrem Durchmesser ungleich (untreu) geworden (Abb. 3) und sind dadurch in ihrer Reißfestigkeit geschwächt.

Das Wollkleid der Schafe ist verschmutzt und an den verschiedenen Körperteilen von unterschiedlicher Feinheit und Länge. Vor dem Waschen in Großwaschanlagen (Abb. 4) erfolgt deshalb ein Sortieren nach den verschiedenen Qualitäten (Abb. 5). Die prozentuale Ausbeute an reingewaschener Wolle wird als Rendement bezeichnet. Beim Waschen darf der Wolle nicht alles Fett entzogen werden, da sie sonst hart und spröde wird. Pflanzliche Verunreinigungen der Wolle (Futterreste, Kletten usw.) werden durch Einwirkung von Schwefelsäure zerstört (Karbonisieren).

Textilabgänge aller Textilbetriebe sowie getragene Textilwaren werden der Reißspinnstoffindustrie zugeführt; sie werden zerrissen und in Einzelfasern aufgelöst. Je leichter dieses Auflösen sich durchführen läßt, um so besser ist die Qualität der *Reißwolle*. Wirk- und Strickwaren ergeben längere Fasern als Kammgarngewebe oder gar verfilzte Stoffe, da sie der Auflösung nur wenig Widerstand entgegensetzen. Nach der Faserlänge werden folgende Qualitäten unterschieden: Wollgestrickt = langes Fasergut aus handgestricktem Material; Golfers = langes Fasergut aus maschinengestricktem Material; Halbwollgolfers = langes Fasergut, das außer Wolle noch Baumwolle oder ähnliches Material enthält; Neu- und Altlumpen = mittellanges Fasergut aus ungewalkten Kammgarnlumpen; Neu- und Alttuch = kurzes Fasergut aus gewalktem Material. Ganz kurzes Fasergut, das zum Spinnen zu kurz ist, wird in der Polsterei, der Schneiderei und in der Steppdeckenindustrie als Füllmaterial verwendet.

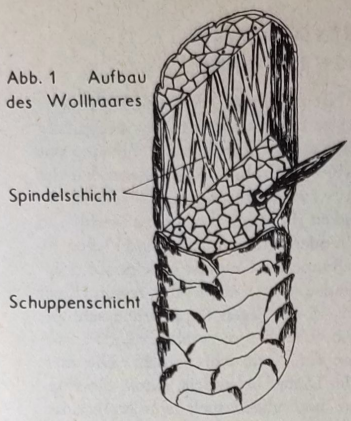


Abb. 1 Aufbau des Wollhaares

Abb. 2 Kräuselungsarten der Wolle

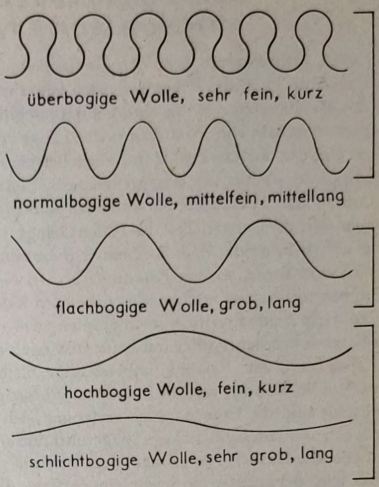
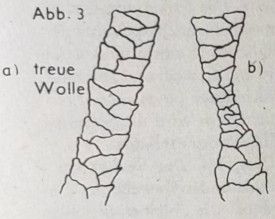


Abb. 3



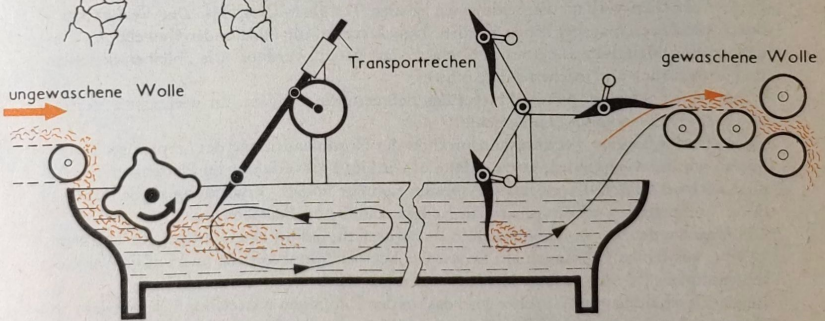


Abb. 4 Großwaschanlage (Leviathan) mit 3-5 hintereinandergeschalteten Kufen

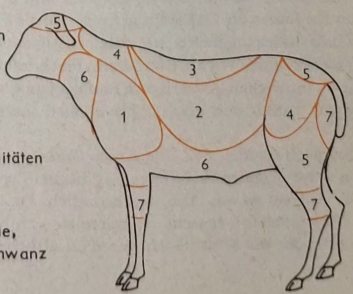


Abb. 5 Vlies mit Bezeichnung der Wollqualitäten (1= beste Qualität usf.)

1= Schulter 2= Flanken 3= Rücken
4= Schenkel, Nacken 5= Kopf, Lende, Kreuz 6= Bauch, Kehle 7= Fuß, Schwanz

SEIDE (MAULBEERSEIDE) UND MINERALISCHE FASERSTOFFE

Seide wird insbesondere von den Raupen eines Nachtschmetterlings (Bombyx mori) erzeugt (Abb. 1). Seine Raupen werden gezüchtet, sie ernähren sich nur von den Blättern des Maulbeerbaumes. Sie sind beim Ausschlüpfen aus den Eiern etwa 3 mm lang und erreichen innerhalb von 33–40 Tagen eine Länge von 8–9 cm (Abb. 2). Sie spinnen sich in den Kokon ein, der aus etwa 4000 m Faden besteht. Aus zwei Spinndrüsen, die sich an der Unterlippe der Raupe befinden, preßt sie eine Flüssigkeit (Fibroin), deren feine Strahlen an der Luft zu Fäden erstarren. Sie sind vom Seidenleim oder Serizin umhüllt und kleben zusammen. Mit dem ersten Teil des Fadens hängt die Raupe ihr Gespinst an einem Reisigzweig auf (Flockseide; Abb. 3). Nun legt sie den Faden immer enger und regelmäßiger um sich und formt so den Kokon (Abb. 4). Nach 15–18 Tagen Puppenruhe schlüpft der Schmetterling aus und zerstört dabei den Kokon. Um dies zu verhindern, läßt man nur so viele Schmetterlinge ausschlüpfen, wie man zur Nachzucht braucht. Die meisten Kokons werden vorher mit heißem Wasser oder Dampf behandelt, damit die Puppen absterben, die Kokons unbeschädigt bleiben und abgehaspelt werden können (Abb. 5). Die Kokons werden in heißem Wasser gebürstet, der Leim wird weich und die Flockseide und die Fadenanfänge verfangen sich in der Bürste. Die Fäden von drei bis acht Kokons werden einer Haspel zugeführt und so weit wie möglich abgehaspelt. Man erhält dabei die Haspelseide (Grège) oder Bastseide. Durch Abkochen in einem milden Seifenbad wird der anhaftende Seidenleim entfernt, die Seide wird weich, weiß und glänzend. Die nicht abhaspelbaren Teile der Kokons und die beim Ausschlüpfen beschädigten Kokons werden vorsichtig zerzupft. Aus den gewonnenen Seidenfasern wird die Schappeseide gesponnen. Kurze Abfälle ergeben die weniger gleichmäßige Bourretteseide.

Beim Abkochen verliert die Seide einen großen Teil ihres Gewichts. Der Verlust kann durch Beschweren ausgeglichen werden. Dabei werden die Fäden oder Gewebe mit Lösungen von Metallsalzen getränkt. Nachdem das Wasser verdunstet ist, bleiben die Salze im Faden zurück und machen diesen schwer.

Wilde Seiden stammen von wild lebenden Schmetterlingsraupen. Ihr wichtigster Vertreter ist der Eichenspinner (Tussahseide).

Asbest ist das faserige Verwitterungsprodukt der Hornblenden und des Serpentins. Lange Fasern werden versponnen, kurzes Material wird im Preßverfahren zu Platten verarbeitet oder als loses Material verwendet. Asbesterzeugnisse finden Verwendung als Schutzkleidung, Isolierstoff, Dichtungsmaterial, Reibwerkstoff und Bauelemente.

Glasfäden werden aus geschmolzenem Glas hergestellt, das bei einer Temperatur von etwa 1250 °C aus feinen Öffnungen am Boden der Schmelzwanne austritt und mit großer Geschwindigkeit (50 m/s) zu feinen Fäden ausgezogen wird.

Bei der Herstellung von *Glasfasern* wird das aus den Öffnungen austretende flüssige Glas von einem starken Luftstrom erfaßt, verstreckt und in unregelmäßigen Abständen abgerissen. Glasgewebe finden als Dekorationsstoffe und als Filtergewebe Verwendung. Meist werden sie in Kunststoffe eingebettet, um deren Festigkeit zu erhöhen.

Metallfäden kommen vor als Runddraht, Flachdraht (Lahn), Metallgespinst (Textilgarn mit Flachdraht umwickelt), Metallgarn (auf galvanischem Wege mit einem Metall überzogenes Textilgarn). Rund- und Flachdrähte können aus verschiedenen Metallen hergestellt werden.

Am häufigsten werden z. Z. die *Lurex-Garne* verwendet. Das sind mehrschichtige Flachgarne in verschiedenen Farbtönen. Es gibt drei Typen: Lurex-Standard, Lurex-MM, Lurex-MF. Ihr Aufbau ist aus Abb. 6 erkenntlich. Da ihre Außenschicht aus Acetat bzw. aus Mylar (Polyesterfilm) besteht, verhalten sie sich beim Färben und Ausrüsten wie Textilgarne und nicht wie Metallfäden, deren metallischen Glanz und deren Aussehen sie haben.

Abb. 1 Bombyx mori

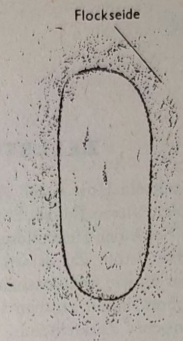


Abb. 3 Fertiger Kokon

Abb. 4 Kokon mit Puppe im Schnitt

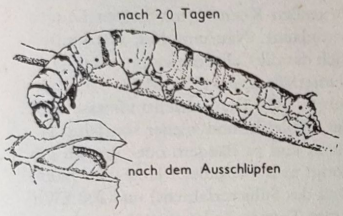


Abb. 2 Seidenraupe

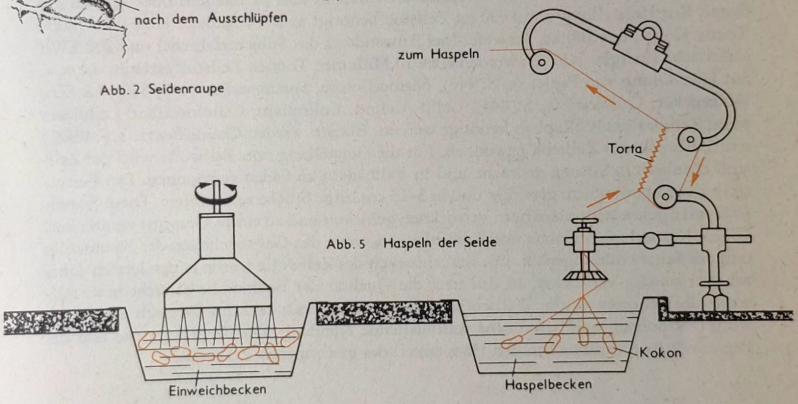


Abb. 5 Haspeln der Seide

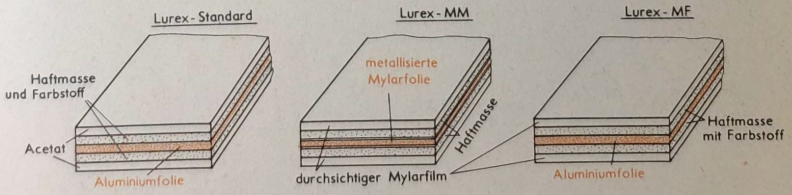
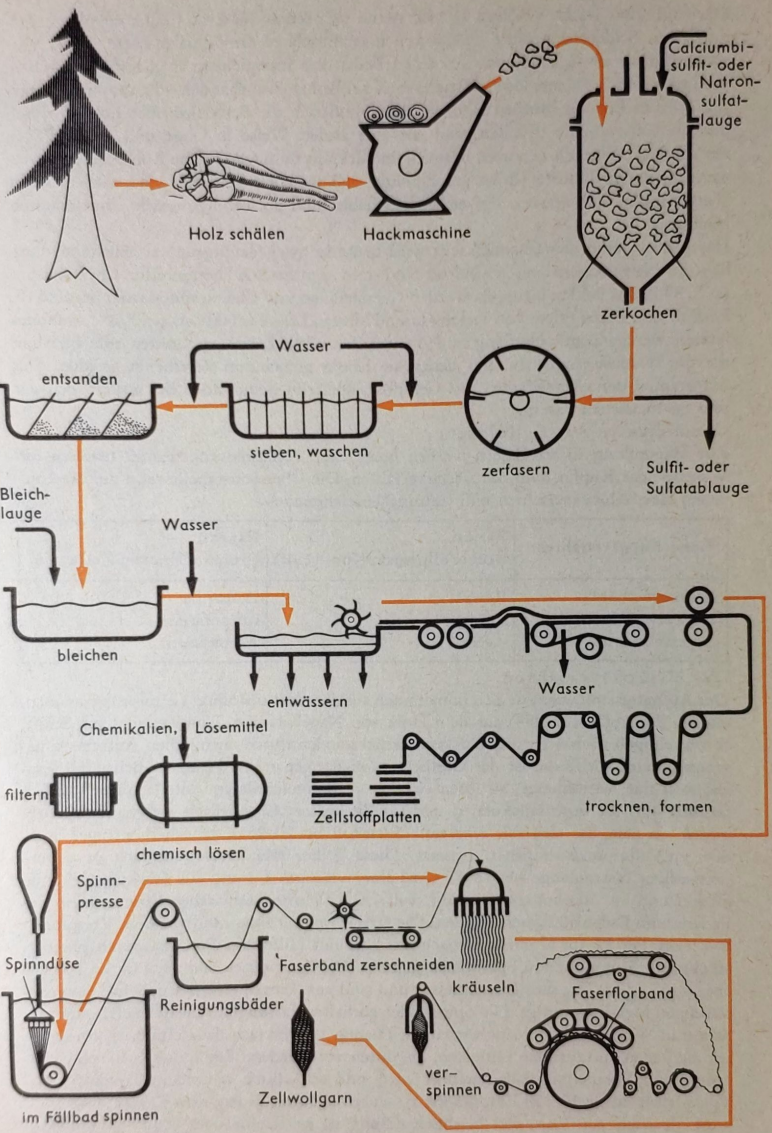


Abb. 6 Aufbau der Lurexgarne

ZELLSTOFF

Zellstoff ist ein aus entrindetem Holz durch Auflösen und chemisches Erweichen entstandener Rohstoff für Papier, Nitrocellulose, Sprengstoffe, Lacke, Holzzucker, Collodium, Celluloid und Zellwolle. Nach der Herstellung unterscheidet man Natronsulfitzellstoff, Salpeterzellstoff und Sulfitzellstoff. Zu dessen Herstellung werden Kiefern-, Fichten-, Tannen-, Buchenholz oder andere cellulosehaltige Pflanzenteile wie Zuckerrohrabfälle, Stroh, Schilf, Mais- und Sonnenblumenstengel, Kartoffelkraut u. ä. nach einer Vorreinigung und nach mechanischer Zerkleinerung in großen Kochern mit heißen Laugen (Calciumbisulfitlösung oder ein Gemisch aus Natronlauge, Natriumsulfid, Natriumsulfat, Natriumcarbonat) aufgeschlossen. Dabei löst sich das die Cellulosefasern verklebende Lignin auf, wird teilweise chemisch zerstört und hinterläßt eine weiche Masse von Rohzellstoff, der chemisch aus Cellulose besteht (s. Holz S. 438). Die Rohzellstoffmasse wird maschinell weiter zerkleinert, gewaschen, entsandet, gebleicht und wieder sorgfältig gereinigt. Schließlich wird die Zellstoffmasse entwässert und zu Bändern oder Pappen geformt. Zur Herstellung von 1000 kg Zellstoff benötigt man 5 Festmeter Holz, eine halbe Tonne Kohle, fast 100 kg Schwefel (bei Anwendung des Sulfitverfahrens) und 200 kWh elektrische Energie. Jährlich werden etwa 10 Millionen Tonnen Zellstoff erzeugt, die u. a. zur Herstellung von Papier (s. S. 440), Nitrocellulose, Sprengstoffen (s. S. 568), Lacken, Holzzucker, Celluloid (s. S. 444), Cellit, Cellon, Collodium, Celluloseäther, Celluloseester, Zellglas und Cellophan benötigt werden. Ebenso werden Chemiefasern (s. S. 486ff.) und Zellwolle aus Zellstoff gewonnen. Für die Herstellung von Zellwolle wird der Zellstoff chemisch in Lösung gebracht und in Fällbädern zu Fäden versponnen. Der Fadenstrang wird gewaschen, gereinigt und in 3–15 cm lange Stücke zerschnitten. Diese Stapelfaser wird gekräuselt, präpariert, getrocknet, gelockert und zu einem Gespinst verarbeitet. Glanz, Kräuselung, Feinheit und Schnittlänge werden den Gegebenheiten der Baumwolle und der Schafwolle angepaßt. Die Brauchbarkeit der Zellwolle wurde in den letzten Jahrzehnten ständig verbessert, so daß jetzt die Qualität der Baumwolle erreicht bzw. teilweise überschritten wurde. Zellwolle wird sowohl rein als auch im Gemisch mit Schafwolle versponnen und liefert sehr warmhaltende Kleidung. Die Textilindustrie und die Papierindustrie verbrauchen den Hauptanteil des gewonnenen Zellstoffs.


Calciumbi-
sulfit- oder
Natron-
sulfat-
lauge
Holz schälen
Hackmaschine
zerkochen
Wasser
entsanden
sieben, waschen
zerfasern
Sulfit- oder
Sulfatablauge
Bleich-
lauge
Wasser
bleichen
entwässern
Wasser
Chemikalien
Lösemittel
filtern
Zellstoffplatten
trocknen, formen
chemisch lösen
Spinn-
presse
Spinndüse
Faserband zerschneiden
kräuseln
Faserflorband
Reinigungsbäder
ver-
spinnen
Zellwollgarn
im Fällbad spinnen

CHEMIEFASERN AUF CELLULOSEBASIS I

Der englische Gelehrte Robert Hooke stellte sich schon 1664 die Frage, wie die Erzeugung von Seidenfäden ohne Seidenraupen technisch zu ermöglichen wäre. Seine Versuche blieben ohne Ergebnis. Um einen Faden aus irgendeinem Rohstoff herzustellen, muß man drei Probleme lösen. Erstens muß ein Rohstoff vorhanden sein, der sich schmelzen oder in Lösung bringen läßt, zweitens muß sich die Schmelze oder Lösung durch dünnste Düsenlöcher drücken oder auf eine andere Weise in lange und dünne Fäden verwandeln lassen, die erstarren müssen, und drittens muß man solche Rohstoffe dazu verwenden, deren dünnste Fäden geschmeidig und trotzdem sehr fest sind, sich nicht in Wasser lösen, eine gewisse Hitzefestigkeit haben und notwendige textile Eigenschaften besitzen.

Das große Gebiet der Chemiefasern wird heute in zwei Hauptgruppen eingeteilt, nämlich in Chemiefasern aus Cellulose und rein synthetisch hergestellte Chemiefasern (s. S. 490). Bei beiden Gruppen werden Chemiefäden und Chemiespinnfasern hergestellt. Erstere sind Erzeugnisse von vielen tausend Metern Länge (praktisch „endlos"), während letztere wenige Zentimeter lang sind; sie werden auf die Länge geschnitten oder gerissen, die die Naturfasern haben, mit denen sie häufig gemeinsam verarbeitet werden. Der Marktanteil der Chemiefasern aus Cellulose übertrifft heute noch bei weitem den der rein synthetischen Fasern.

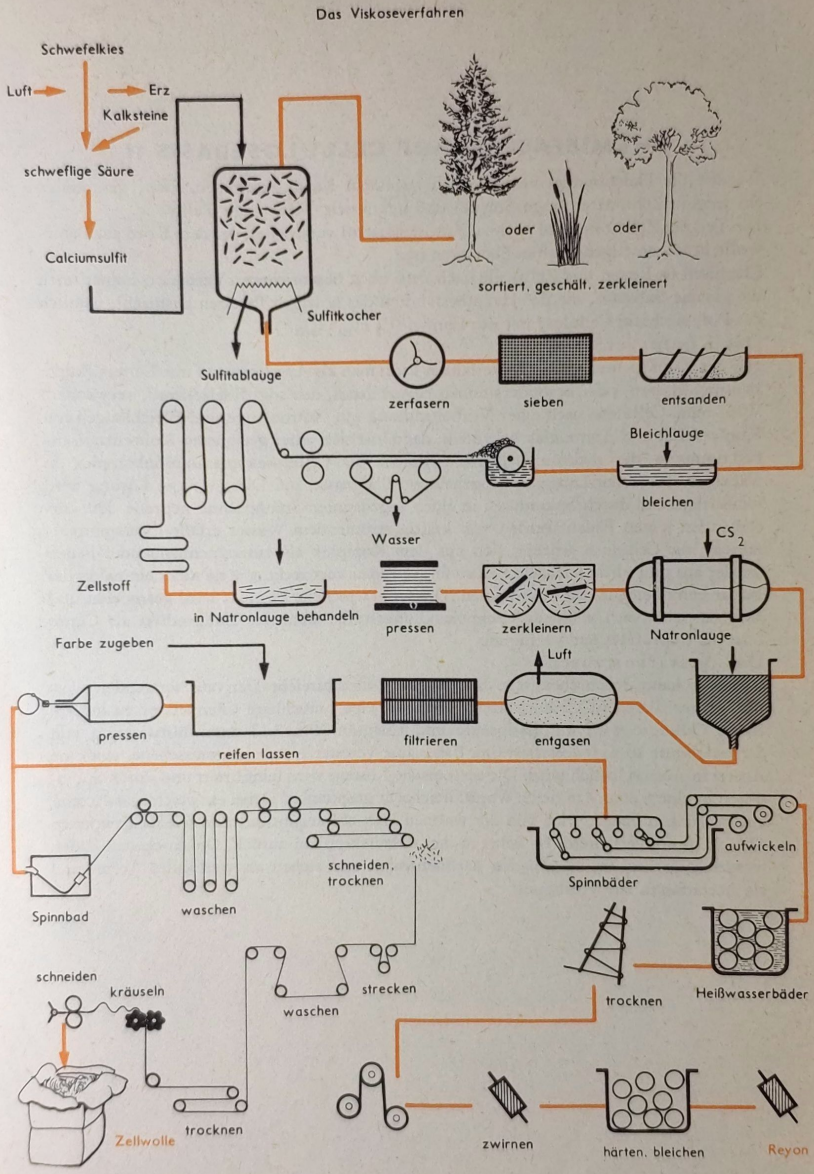
Chemiefasern aus Cellulose

Zur Herstellung dieser Fasern werden heute drei Verfahren angewandt, nämlich das Viskose-, das Kupfer- und das Acetatverfahren. Die Übersichtstabelle zeigt die verschiedenen Herstellungsverfahren und Gattungsbezeichnungen:

Herstellungsverfahren	Fäden (früher allgemein Kunstseide)	Fasern (früher allgemein Zellwolle)
Viskoseverfahren	Reyon	Zellwolle
Kupferverfahren	Cupro	Cuprofasern
Acetatverfahren	Acetat	Acetatfasern

Das Viskoseverfahren

Der Ausgangsstoff wird zur Zeit immer noch aus dem Naturprodukt Cellulose gewonnen, das als Zellstoff (s. S. 484) aus dem Holz von Nadelbäumen, Laubbäumen, aus Schilf, Stroh, einigen Grasarten und Zuckerrohrrückständen durch chemischen Aufschluß gewonnen wird. Cellulose ist der Gerüstbaustoff der genannten Pflanzen. Behandelt man Zellstoff mit Natronlauge, so lösen sich die niedermolekularen Anteile unter Dunkelfärbung auf, die hochmolekularen und für die spätere Chemiefaser wertvollen Anteile bilden ein Salz, das sich mit Schwefelkohlenstoff bei 20–25° C innerhalb weniger Stunden zu Cellulosexanthogenat umsetzt. Diese gelbe, zähe Masse löst sich in siebenprozentiger Natronlauge bei 15–17°C zu einer viskosen Lösung auf (Viskose), die nun filtriert und im Vakuum entgast wird, weil schon kleinste Gasbläschen beim Spinnen des Fadens zum Fadenriß führen würden. Die fertige Spinnlösung muß vor dem Verspinnen 2–4 Tage bei 12–15° C reifen, danach wird sie mit Hilfe von Pumpen durch pfennigstückgroße Spinndüsen in Spinnbäder gepreßt. Die Spinndüsen enthalten bis zu 150 Löcher von $^1/_{20}$ bis $^1/_{10}$ mm Durchmesser und sind aus Tantal, einem säure- und laugebeständigen Metall, gefertigt. Die Spinnbäder enthalten Lösungen von Schwefelsäure und Salzen in Wasser. In einer solchen sauren Lösung zersetzt sich das Cellulosexanthogenat zur als Faden ausfallenden Cellulose, die durch verschiedene Reinigungs-, Bleich-, Härtungs- und Veredelungsbäder geführt wird und schließlich nach dem Trocknen und Verzwirnen der je 10–120 Einzelfäden zu einem einzigen Faden, dem Reyon, aufgespult wird. Je nach der Vor- und Nachbehandlung ist es farblos oder schon spinngefärbt (besonders waschechte Färbungen), glänzend oder matt, fein oder grob.


Das Viskoseverfahren
Schwefelkies
Luft
Erz
Kalksteine
schweflige Säure
Calciumsulfit
Sulfitkocher
Sulfitablauge
oder
oder
sortiert, geschält, zerkleinert
zerfasern
sieben
entsanden
Bleichlauge
bleichen
Wasser
Zellstoff
in Natronlauge behandeln
pressen
zerkleinern
CS_2
Natronlauge
Farbe zugeben
pressen
reifen lassen
filtrieren
Luft
entgasen
Spinnbad
waschen
schneiden, trocknen
Spinnbäder
aufwickeln
schneiden
kräuseln
waschen
strecken
trocknen
Heißwasserbäder
Zellwolle
trocknen
zwirnen
härten, bleichen
Reyon

CHEMIEFASERN AUF CELLULOSEBASIS II

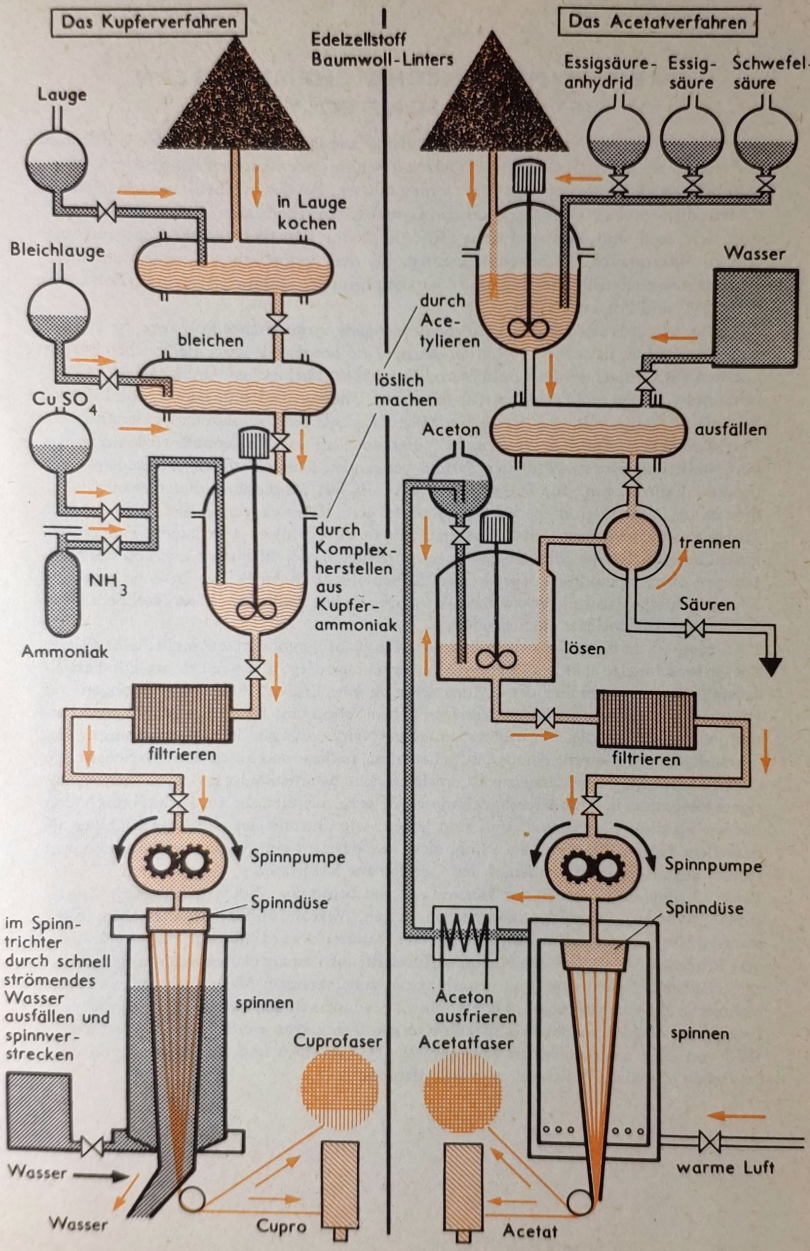
Werden die Fadenbündel vieler Düsen zu einem Kabel zusammengefaßt, geschnitten (in wenige Zentimeter lange Stücke) und gekräuselt, so entsteht Zellwolle.
Ein Teil der Zellwolle wird auch zu Autoreifenkord verarbeitet, der dem Kord aus Baumwolle in seinen Eigenschaften überlegen ist.
Chemisch ist Reyon und Zellwolle nach dem oben beschriebenen Verfahren immer noch die gleiche Substanz, die den Hauptbestandteil der holzigen Pflanzen ausmacht, nämlich das Polysaccharid Cellulose mit der Formel $(C_6 H_{10} O_5)_n$.

Das Kupferverfahren

Für das Kupfer- und das Acetatverfahren kann man als Ausgangsstoff nur Linters (kurze Baumwollfasern) oder besonders reinen Holzzellstoff, den sog. Edelzellstoff, verwenden. Wird reine Cellulose nach einer Vorbehandlung mit Natronlauge und Bleichlaugen mit Kupfersulfat und Ammoniak behandelt, dann löst sich unter geeigneten Konzentrationsbedingungen die makromolekulare Cellulose als Cellulosekupferammonkomplex in wäßriger alkalischer Lauge zur sogenannten Blaumasse auf. Diese viskose Lösung wird feinfiltriert und durch Spinndüsen in einen sogenannten Spinntrichter gepreßt. Die entstehenden feinen Fäden werden von kräftig strömendem Wasser erfaßt (Naßspinnverfahren), die Cellulose scheidet sich aus dem Komplex als zusammenhängender Faden wieder aus und wird gleichzeitig zu so feinen Fäden verstreckt, wie sie nicht einmal in der Natur beim Seidenfaden vorkommen. Das ausgewaschene Produkt wird getrocknet und aufgehaspelt. Nach weiteren Nachbehandlungsstufen steht das Endprodukt als Cupro oder als Cuprofaser zur Verfügung.

Das Acetatverfahren

Cellulose kann durch chemische Umwandlung in zahlreiche Derivate verwandelt werden. Unter diesen ist Celluloseacetat geeignet, eine brauchbare Chemiefaser zu liefern. Reine Cellulose wird mit Essigsäure und Essigsäureanhydrid unter Mitwirkung von Schwefelsäure so weit acetyliert (mit Essigsäure verestert), daß das gewaschene, trockene Acetat in Aceton löslich wird. Die acetonische Lösung wird feinfiltriert und durch Spinndüsen in einem etwa 4 m tiefen Warmluftschacht gesponnen. Dabei entweicht das Aceton aus den feinen Fäden, wird von der warmen Luft abtransportiert und wieder gewonnen (Trockenspinnverfahren). Es kehrt in den Arbeitskreislauf zurück. Die trockenen Fäden werden aufgehaspelt, verschieden nachbehandelt und stehen als wertvolles Acetat und als Acetatfasern zur Verfügung.


Das Kupferverfahren
Edelzellstoff
Baumwoll-Linters
Das Acetatverfahren
Lauge
in Lauge kochen
Bleichlauge
bleichen
$CuSO_4$
NH_3
Ammoniak
löslich machen
durch Komplex-herstellen aus Kupfer-ammoniak
filtrieren
Spinnpumpe
Spinndüse
im Spinn-trichter durch schnell strömendes Wasser ausfällen und spinnver-strecken
spinnen
Wasser
Wasser
Cuprofaser
Cupro
Essigsäure-anhydrid
Essig-säure
Schwefel-säure
Wasser
durch Ace-tylieren
Aceton
ausfällen
trennen
Säuren
lösen
filtrieren
Spinnpumpe
Spinndüse
Aceton ausfrieren
Acetatfaser
spinnen
warme Luft
Acetat

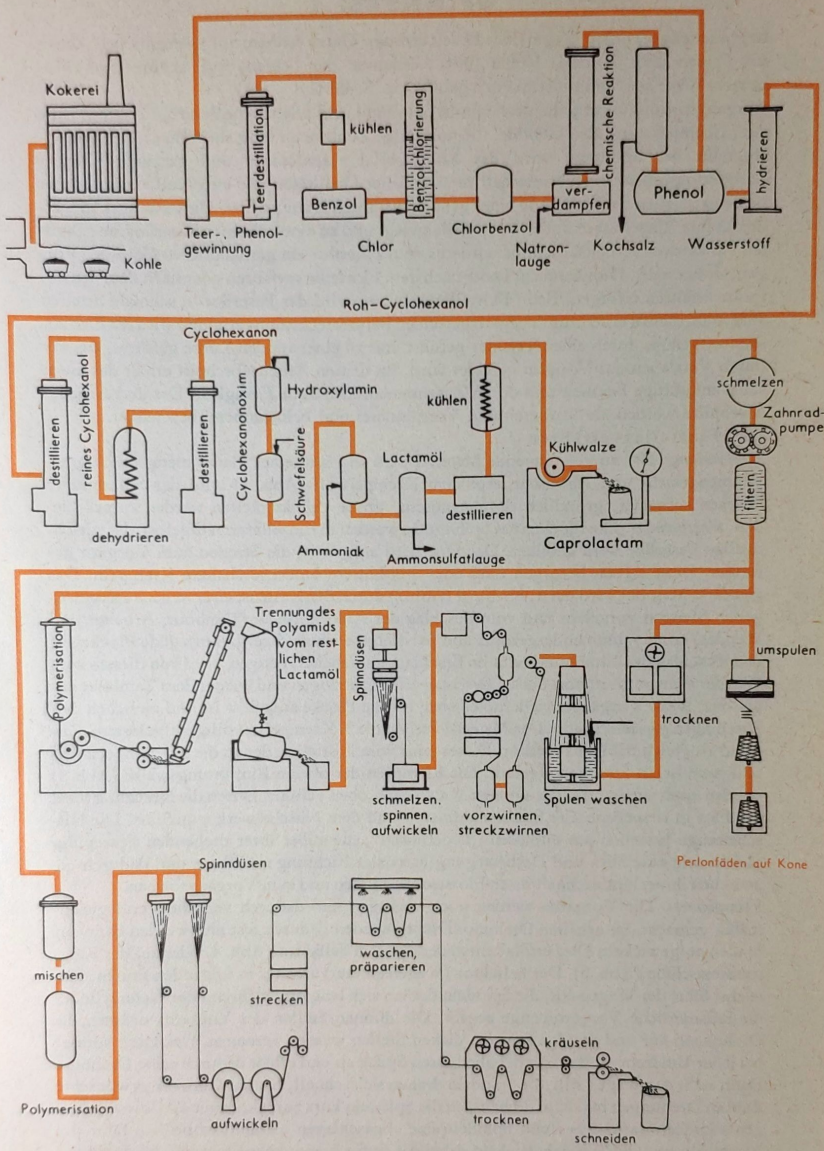
REIN SYNTHETISCHE CHEMIEFASERN (SYNTHETISCHE POLYMERE)

Zur Herstellung von Chemiefasern aus Zellstoff werden natürlich gewachsene Rohstoffe verwendet, bei denen mit Hilfe des Viskose-, Kupfer- oder Acetatverfahrens (s. S. 486ff.) lediglich die Moleküle neu geordnet werden müssen. Bei den synthetischen Chemiefasern müssen die Moleküle jedoch erst aus den Grundstoffen (Elementen) Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff ohne Hilfe der Natur künstlich (synthetisch) aufgebaut und zu Makromolekülen erweitert werden. Bei den synthetischen Chemiefasern unterscheidet man nach dem Ausgangsstoff vier Hauptgruppen, nämlich Polyvinyl-, Polyamid-, Polyacryl- und Polyesterfasern.

Die Abb. zeigt als Beispiel für den Produktionsgang synthetischer Polymere die Herstellung von Perlon, das neben Nylon in Deutschland hergestellt wird. Beide Chemiefasern gehören zur Gruppe der Polyamidfasern, die nach der chemischen Amidgruppe (CONH) benannt ist. Nylon und Perlon werden in großem Umfang aus Kohle oder Erdöl, Luft und Wasserstoff hergestellt. Aus Kohle wird Phenol, aus Erdöl Cyclohexanol gewonnen, die Rohstoffe sind aber auch gegenseitig ersetzbar; aus Luft und Wasserstoff wird Ammoniak hergestellt und Sauerstoff für den Prozeß verwendet. Das schließlich entstandene Rohprodukt Caprolactam (für Perlon) bzw. das Salz aus Adipinsäure und Hexamethylendiamin (z. B. für Nylon 66) wird polykondensiert, dabei verbinden sich die einzelnen Moleküle untereinander (unter Wasseraustritt beim Nylon) zu sehr langen Fadenmolekülen. Es entsteht eine oberhalb 260 °C schmelzende Masse, die filtriert und von Zahnradpumpen durch Spinndüsen gepreßt wird. Dabei bildet sich der Perlon- bzw. Nylonfaden. Er wird durch Strecken, Verzwirnen, Waschen, Färben und chemisches Nachbehandeln zur fertigen Chemiefaser umgewandelt.

Im Gegensatz zu Nylon enthält Perlon noch bis zu 10 % monomere Anteile, daher bleibt die Perlonschmelze stabil, während die Nylonschmelze leicht zersetzlich ist. Die Perlonherstellung hat gegenüber der Nylonerzeugung eine größere Ausbeute – bezogen auf Phenol als Ausgangsstoff. Im allgemeinen haben Perlon und Nylon ähnliche Eigenschaften, jedoch läßt sich Perlon leichter anfärben, Nylon dagegen ist gegen Lösungsmittel beständiger. Die Gewebe daraus sind scheuerfest, reißfest und knickfester als Schafwolle oder Baumwolle. Sie widerstehen Fäulnisbakterien (Baumwolle ist z. B. nach sechsmonatigem Eingraben in fäulnisfreudiger Erde völlig verrottet, Gewebe aus Perlon oder Nylon überstehen diese Einwirkung) und sind gegen viele Chemikalien widerstandsfähiger als natürliche Fasern. Der Schmutz dringt nicht in die Fasern ein, Nylon und Perlon können daher leichter gereinigt werden als ein Gewebe aus Naturfaser.

Beide Chemiefasern werden zur Herstellung von Strümpfen, Socken, Nähgarn, Möbelstoffen, Wäsche, Teppichen, künstlichen Pelzen, Verbandstoffen, chirurgischem Nähmaterial, Netzen und Seilen für die Fischerei, Autoreifenkord, Riemen, Kabelumhüllungen, Filtertüchern, für jede Art Kleidung, Filze, für aufblasbare Hallenumhüllungen (Luftzelt), Borsten, Folien usw. und neuerdings in zunehmendem Maße auch für zahlreiche technische Zwecke verwendet. Dies geschieht besonders in den Fällen, in denen nicht die Faserform nötig ist, sondern kompakter Kunststoff eingesetzt werden kann. Nylon wurde 1932 von dem amerikanischen Chemiker W. H. Carothers und Perlon 1938 von dem deutschen Chemiker P. Schlack erstmalig dargestellt.


Kokerei
Kohle
Teer-, Phenol-gewinnung
Teerdestillation
kühlen
Benzol
Benzolchlorierung
Chlor
Chlorbenzol
Natron-lauge
ver-dampfen
chemische Reaktion
Kochsalz
Phenol
hydrieren
Wasserstoff
Roh-Cyclohexanol
destillieren
reines Cyclohexanol
dehydrieren
Cyclohexanon
destillieren
Cyclohexanonoxim
Hydroxylamin
Schwefelsäure
Ammoniak
Lactamöl
kühlen
destillieren
Ammonsulfatlauge
Kühlwalze
Caprolactam
schmelzen
Zahnrad-pumpe
filtern
Polymerisation
Trennung des Polyamids vom rest-lichen Lactamöl
Spinndüsen
schmelzen, spinnen, aufwickeln
vorzwirnen, streckzwirnen
Spulen waschen
trocknen
umspulen
Perlonfäden auf Kone
mischen
Polymerisation
Spinndüsen
strecken
aufwickeln
waschen, präparieren
trocknen
kräuseln
schneiden

SPINNEREI I

In Spinnereien werden Garne oder Fäden erzeugt. Garne werden auf mechanischem Wege aus Fasern oder Haaren, Fäden (mit Ausnahme der Seiden) auf chemisch-physikalischem Wege aus Spinnflüssigkeiten gebildet (s. S. 486 ff.).

Ausgangsprodukte für jede mechanische Spinnerei sind pflanzliche Fasern, tierische Haare oder Chemiefasern, also Gebilde, die nur einige Zentimeter lang sind. Im ersten Arbeitsabschnitt der Spinnerei wird das Rohmaterial aufgelockert und gereinigt. Gleichzeitig erfolgt meist ein Vermischen verschiedener Qualitäten und eventuell verschiedener Fasermaterialien zur Erzielung einer ganz bestimmten Garnqualität. Die Faserflocken werden in ihre Einzelfasern aufgelöst, parallelgelegt und zu einem dünnen Faserflor ausgebreitet. Im zweiten Arbeitsabschnitt wird aus dem Faserflor ein garnähnliches Gebilde (Vorgarn) hergestellt. Dies kann entweder nach dem Florteilerverfahren oder nach dem Streckspinnverfahren erfolgen. Beim Florteilerverfahren wird der Faserflor in schmale Streifen aufgeteilt, diese werden zum Vorgarn gerundet. Beim Streckspinnverfahren wird der Flor zusammengefaßt, durch einen Trichter geführt und zu einer runden Lunte geformt, aus der durch Verziehen das Vorgarn gebildet wird. Im dritten Arbeitsabschnitt erhält das Garn seine endgültige Feinheit und durch Zusammendrehen seine Festigkeit. Die drei Arbeitsabschnitte werden als Vorbereitung, Vorspinnerei und Feinspinnerei bezeichnet.

Das Florteilerverfahren

Vorbereitung: Das zu verspinnende Material wird an Hand eines Planes mengenmäßig zusammengestellt und vermischt. Auf dem Krempelwolf (Abb. 1) wird das Spinngut in Flocken aufgelöst, gründlich durchgemischt, grobe Unreinigkeiten werden ausgeschieden. *Vorspinnerei:* Die Flocken des Spinngutes werden in Einzelfasern aufgelöst, der gleichmäßige Faserflor wird gebildet. Der Flor wird aufgeteilt, die Streifen zum Vorgarn gerundet. Diese Arbeit besorgen zwei oder drei hintereinandergeschaltete Krempeln. Das gewolfte Material wird der 1. Krempel (Abb. 2) durch den Kastenspeiser in genau abgewogenen Mengen vorgelegt und vom Beschlag der Arbeitsorgane (Tambour, Arbeiter und Wender) erfaßt, auseinandergezupft und parallelgestrichen (Streichgarn). Jede Flocke auf dem Beschlag des Tambours bleibt im Beschlag des Arbeiters hängen, wird von diesem zum Wender transportiert, von dessen Beschlag erfaßt, verzogen und wieder dem Tambour zugeführt. Diese Vorgänge wiederholen sich, bis die Flocke aufgelöst ist und zwischen den Beschlägen passieren kann. Das Material verläßt die 3. Krempel in völlig aufgelöstem Zustand als gleichmäßiger Faserflor. Dieser wird vom Florteiler, der an die 3. Krempel angeschlossen ist, in Streifen aufgeteilt. Die Riemchen der oberen Einführungswalze (Abb. 3) werden nach unten, die der unteren Walze nach oben geführt. Durch die Kreuzung wird der Flor in riemchenbreite Streifen aufgeteilt und dem Nitschelwerk zugeführt. Die Nitschelzeuge bestehen aus endlosen „Lederhosen", die außer ihrer drehenden Bewegung gleichzeitig eine Hin- und Herbewegung in axialer Richtung ausführen und dadurch die zwischen ihnen hindurchgeführten Florstreifen runden und zum Vorgarn formen.

Feinspinnerei: Die Vorgarne werden noch verzogen und dadurch verfeinert und gleichmäßig gemacht. Sie erhalten Drehung (Draht), werden dadurch fest und werden dann auf Spulen aufgewickelt. Dies erfolgt entweder auf dem Selfaktor (Abb. 4) oder auf der Ringspinnmaschine (Abb. 5). Der Selfaktor (Wagenspinner) arbeitet in folgenden Stufen: Zunächst fährt der Wagen aus, die Spindeln drehen sich langsam, während der Lieferzylinder die erforderliche Vorgarnmenge abgibt. Die dünnen Stellen des Vorgarns nehmen die Drehungen auf und werden fest, die dicken Stellen werden verzogen. Das Garn springt bei jeder Umdrehung der Spindel über deren Spitze ab und erhält dadurch seine Drehung. Dann steht der Wagen still, die Spindeln drehen sich schnell, bis das Garn die gewünschte Zahl an Drehungen hat. Nun drehen sich die Spindeln kurz zurück, damit die Garnwindungen zwischen Garnkörper und Spindelspitze abgeschlagen werden; schließlich fährt der Wagen ein und die Spindeln wickeln dabei das fertig gesponnene Garn auf (periodisches Spinnen).

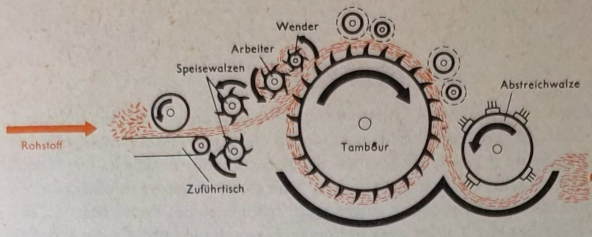


Abb. 1 Krempelwolf

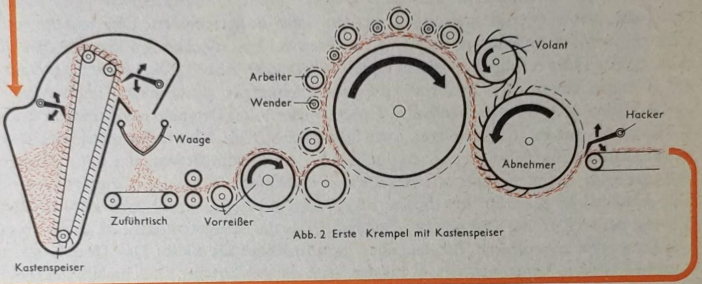


Abb. 2 Erste Krempel mit Kastenspeiser

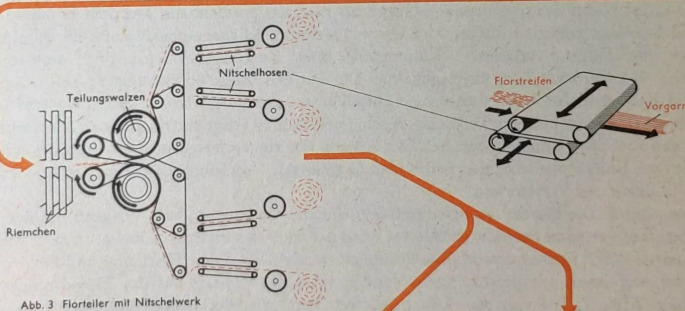


Abb. 3 Florteiler mit Nitschelwerk

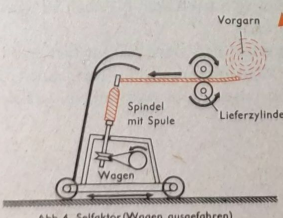


Abb. 4 Selfaktor (Wagen ausgefahren)

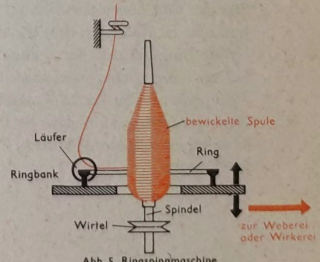


Abb. 5 Ringspinnmaschine

Die Ringspinnmaschine erledigt diese Arbeiten in einem Gang (kontinuierliches Spinnen). Das Vorgarn, das der Lieferzylinder abgibt, wird durch ein Streckwerk vorgedreht und durch den Läufer zur Spule geführt, die fest auf die Spindel aufgesteckt ist. Dreht sich diese, so wird das Garnstück zwischen Spindel und Streckwerk angezogen und dadurch der Läufer in Drehrichtung der Spindel nachgezogen. Infolge seines Gewichts und der Reibung auf dem Ring hat der Läufer eine geringere Umdrehungszahl als die Spindel. Jede Drehung, die der Läufer macht, ergibt eine Drehung des Garns. Jede Drehung, die der Läufer weniger macht als die Spindel, ergibt eine Garnwicklung auf der Spule.

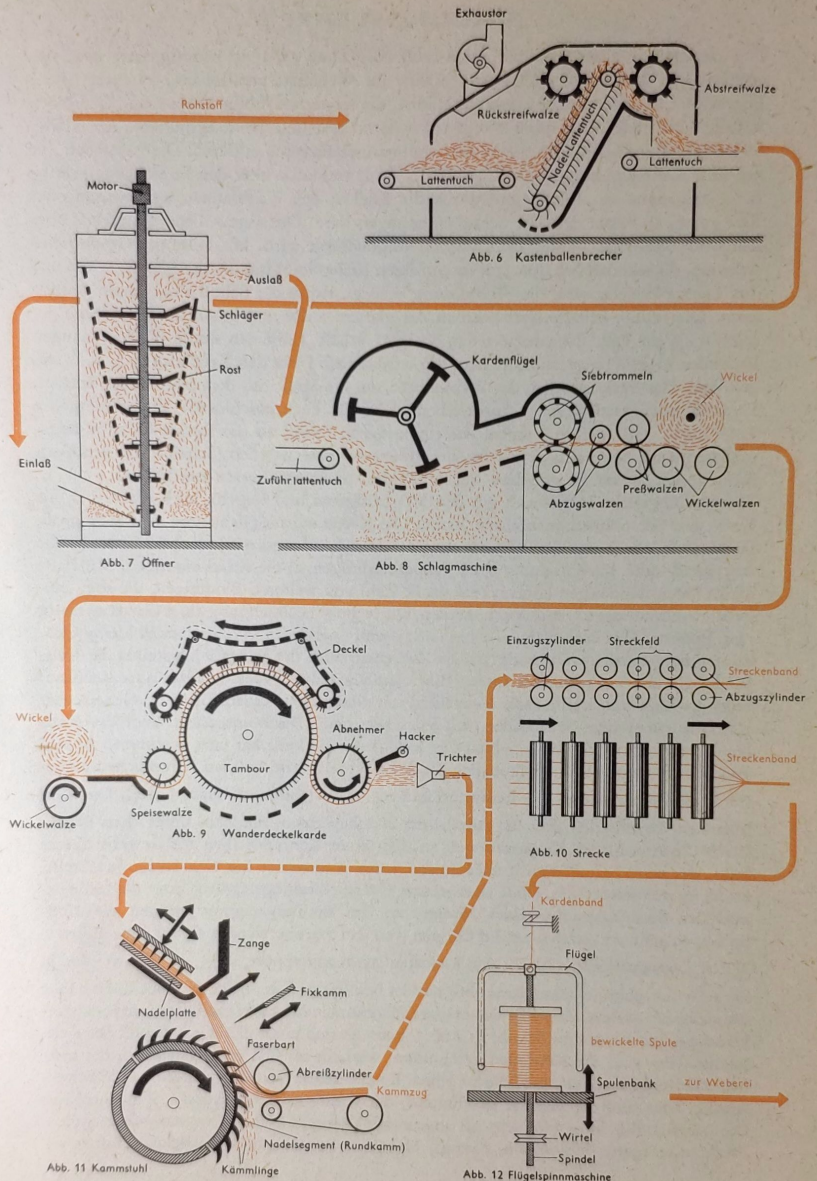
Das Streckspinnverfahren (als Beispiel hier das Spinnen von Baumwollgarn)

Vorbereitung: Die festgepreßten Baumwollballen werden auf dem Kastenballenbrecher (Abb. 6) und anschließend auf dem Öffner (Abb. 7) aufgelockert und eventuell vermischt; grobe Verunreinigungen werden dabei ausgeschieden. Die Schlagmaschine (Abb. 8) formt einen Wattewickel. Das Auflösen der Faserflocken in Einzelfasern und die Bildung des Flors erfolgen auf der Wanderdeckelkarde (Abb. 9), die in ihrer Arbeitsweise der Krempel entspricht. Der Flor wird zusammengefaßt, durch einen Trichter geführt und zur Lunte (Kardenband) geformt. Durch wiederholtes Doppeln und Strecken wird das Kardenband immer gleichmäßiger. Dem Streckwerk (Abb. 10) werden meist jeweils sechs Kardenbänder zugeführt (sechsfach doubliert). Jedes Zylinderpaar, das auf die Einzugszylinder folgt, dreht sich schneller als das vorhergehende. Wenn die Abzugsgeschwindigkeit sechsmal so hoch ist wie die Einzugsgeschwindigkeit, ergibt sich ein sechsfacher Verzug bei sechsfacher Doppelung. Das Band, das die Strecke verläßt, ist genau so stark wie eines der zugeführten Bänder, aber gleichmäßiger als diese. Das Doublieren und Strecken wird so lange wiederholt, bis das Band die gewünschte Gleichmäßigkeit hat.

Will man besonders gleichmäßige Garne, so wird das Kardenband vor dem Doublieren und Strecken gekämmt. Dabei wird kurzes Fasermaterial ausgeschieden und die Parallellage der Fasern verbessert (Kammgarn). Das Kardenband wird im Kammstuhl (Abb. 11) von zwei Zangen festgehalten. Der aus der Zange hervorragende Teil (Kopf) der Fasern wird durch den Rundkamm ausgekämmt. Der ausgekämmte Faserbart wird abgezogen und sein hinterer Teil dabei durch den Fixkamm ausgekämmt, der sich inzwischen in den Faserbart eingeschoben hat. Der Anfang des zuletzt ausgekämmten Abrisses wird mit dem Ende des vorherigen verbunden (angelötet). Nun folgt das vorher beschriebene Doublieren und Verstrecken.

Vorspinnerei: Die Bänder werden durch allmähliches Verstrecken zum Vorgarn verfeinert. Von einer gewissen Feinheit an hält das Band das weitere Verstrecken nur noch aus, wenn es zuvor durch Drehungen erhöhte Festigkeit erhalten hat. Diese Festigung und Drahtgebung, verbunden mit gleichzeitigem Verzug, erhält das Vorgarn auf der Flügelspinnmaschine (Abb. 12). Das vom Streckwerk gelieferte Band wird durch die Bohrung im Kopf der Spindel und durch den hohlen Flügelarm zur Spule geführt, die lose auf die Spindel aufgesteckt ist. Der sich drehende Flügelarm zieht die Spule nach. Aus dem Unterschied der Umdrehungszahlen der Spindel und der Spule ergibt sich nach dem gleichen Prinzip wie bei der Ringspinnmaschine die Drehung des Vorgarns.

Feinspinnerei: Das letzte Verziehen und Drehen zum fertigen Garn erfolgt hier wie beim Florteilverfahren auf dem Selfaktor oder auf der Ringspinnmaschine. Nur haben beide Maschinen in diesem Falle ein Zwei- oder Dreizylinderstreckwerk statt eines einfachen Lieferzylinders.


Exhaustor
Rohstoff
Rückstreifwalze
Abstreifwalze
Nadel-Lattentuch
Lattentuch
Lattentuch
Abb. 6 Kastenballenbrecher
Motor
Auslaß
Schläger
Rost
Einlaß
Abb. 7 Öffner
Kardenflügel
Siebtrommeln
Wickel
Zuführlattentuch
Abzugswalzen
Preßwalzen
Wickelwalzen
Abb. 8 Schlagmaschine
Deckel
Wickel
Abnehmer
Hacker
Tambour
Trichter
Speisewalze
Wickelwalze
Abb. 9 Wanderdeckelkarde
Einzugszylinder
Streckfeld
Streckenband
Abzugszylinder
Streckenband
Abb. 10 Strecke
Kardenband
Zange
Flügel
Fixkamm
Nadelplatte
Faserbart
bewickelte Spule
Abreißzylinder
Kammzug
Spulenbank
zur Weberei
Nadelsegment (Rundkamm)
Kämmlinge
Wirtel
Spindel
Abb. 11 Kammstuhl
Abb. 12 Flügelspinnmaschine

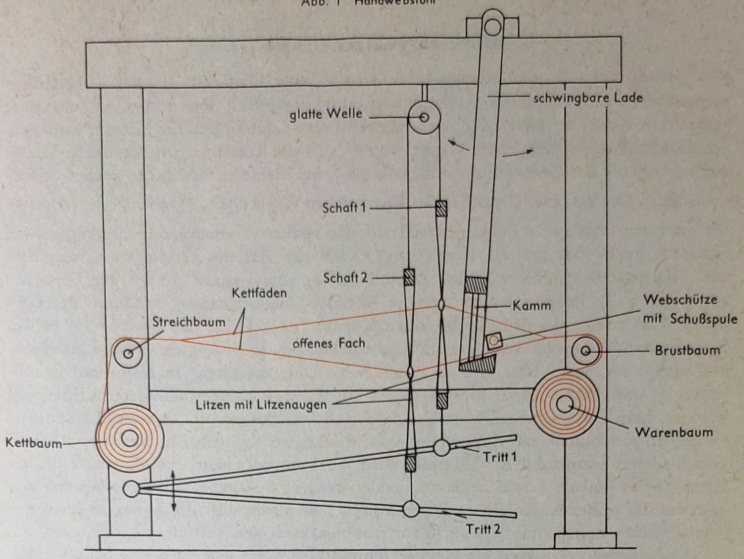
BINDUNGSLEHRE I

Zur Herstellung eines Gewebes, auch Stoff oder Zeug genannt, benötigt man zwei sich rechtwinklig kreuzende Fadensysteme. Die im Webstuhl parallel und in einer Ebene liegenden Längsfäden nennt man Kettfäden, die sie rechtwinklig kreuzenden Querfäden heißen Schußfäden. An ihren Kreuzungsstellen entstehen Bindungspunkte. Am Handwebstuhl (Abb. 1) läßt sich der Webvorgang am einfachsten erklären. Die Kettfäden, die auf dem Kettbaum aufgewickelt (geschärt) sind, verlaufen über den Streichbaum, durch die Litzenaugen der Litzen und durch die Lücken des Webblattes (auch Kamm oder Riet genannt), hinter dem der Schuß eingetragen wird. Die abgewobene Ware läuft über den Brustbaum zum Warenbaum, wo sie aufgewickelt wird. Mit Hilfe der Geschirreinrichtung, die aus den Schäften mit ihren Litzen (feine Stahldrähte), der glatten Welle und den Tritten besteht, wird die Fachbildung besorgt, damit der Schuß eingetragen werden kann. Die beiden Schäfte sind oben an der glatten Welle und unten an den Tritten geschnürt. Wird Tritt 2 niedergetreten, so wird Schaft 2 mit den durch die Litzenaugen laufenden Kettfäden gesenkt, gleichzeitig wird Schaft 1 mit den Kettfäden 1, 3, 5, 7, usf. gehoben. Das Fach ist offen, der Webschütze, der die Spule mit dem Schußfaden enthält, kann eingeschossen werden. Anschließend wird das Fach geschlossen, die schwingbare Lade nach vorn geführt, wobei der eingetragene Schuß an das fertige Gewebe angeschlagen wird. Nun wird Tritt 1 niedergetreten, das Fach ist offen; Schaft 2 mit den Kettfäden 2, 4, 6, 8, usf. ist gehoben, der 2. Schuß kann eingeschossen werden usw.

Die Bindungslehre befaßt sich mit den Möglichkeiten und Regeln, nach denen sich die Kett- und Schußfäden verkreuzen lassen. Die Kreuzungsmöglichkeiten sind sehr groß, lassen sich jedoch auf drei Grundsysteme (Grundbindungsarten) zurückführen: a) die Leinwand- oder Tuchbindung, b) die Köperbindungen, c) die Atlasbindungen. Mit Hilfe dieser Grundbindungen können eine große Zahl von weiteren Bindungen, die sog. „abgeleiteten Bindungen", entwickelt werden. Die technische Zeichnung eines Gewebes nennt man Patrone. Das Patronenpapier hat Längs- und Querlinien, wodurch es in kleine Quadrate oder Rechtecke eingeteilt ist. Die Zwischenräume der Längslinien stellen die Kettfäden, die der waagerechten Linien die Schußfäden dar. Jedes Quadrat oder Rechteck zeigt die Kreuzungsstelle eines Kettfadens mit einem Schußfaden. Liegt im Gewebe der Kettfaden über dem Schußfaden, wird das betreffende Fach ausgefüllt, liegt der Kettfaden unter dem Schußfaden, bleibt es leer. Jede Bindung hat eine bestimmte Anzahl von Ketthebungen und -senkungen. Zu ihrer Schreibweise wurden Kurzzeichen eingeführt. Das Kurzzeichen der Leinwandbindung ist $\frac{1}{1}$ (sprich: 1 hoch, 1 tief). Die Zahl über dem Bruchstrich gibt die Anzahl der Ketthebungen, die Zahl unter dem Bruchstrich die Anzahl der Kettsenkungen an. Der erste Kettfaden liegt im Gewebe immer links, der erste Schußfaden immer unten. Jedes Webmuster hat eine bestimmte Stelle, an der es sich wiederholt. Diese abgegrenzte Fläche (Bindungsrapport) zeigt die Mindestzahl der Bindungspunkte eines Musters an. Im Bindungsrapport werden die Ketthebungen schwarz gezeichnet, im übrigen Teil der Patrone werden sie rot ausgeführt.

a) Die Leinwandbindung (*L*) hat den kleinsten Bindungsrapport, $L\frac{1}{1}$, sie ist zweibindig. Sie zeigt schachbrettartige Musterung und ist beidseitig, d. h., beide Gewebeseiten haben das gleiche Aussehen. Sie ist die älteste und einfachste Bindung und hat die festeste Fadenverkreuzung von Kette und Schuß. In Abb. 2 befindet sich unter dem Gewebebild der Kettschnitt. Hier sind die Kettfäden geschnitten, weshalb sie sich rund darstellen, der erste Schußfaden ist als Schlangenlinie zu sehen. Rechts neben dem Gewebebild ist der Schußschnitt. Hier sind die Schüsse geschnitten, der Kettfaden zeigt sich als Schlangenlinie. Die Leinwandbindung wird sehr oft angewandt (Batist, Chiffon, Cretonne, Fahnentuch, Fresko, Georgette, Homespun, Kattun, Musselin, Popelin, Schneiderleinen, Taft u. a.).

Abb. 1 Handwebstuhl



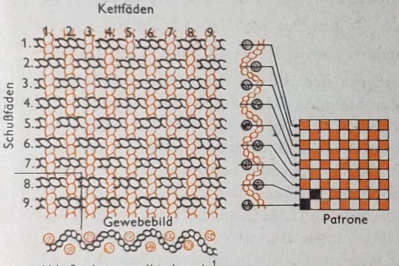


Abb. 2 Leinwandbindung $L\frac{1}{1}$

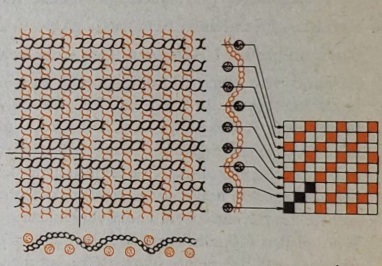


Abb. 3 Köperbindung $K\frac{1}{2}z$

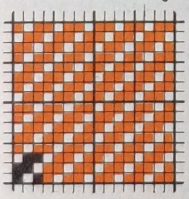


Abb. 4 $K\frac{2}{1}z$

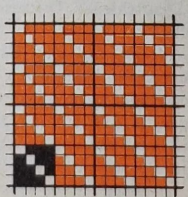


Abb. 5 $K\frac{4}{1}s$

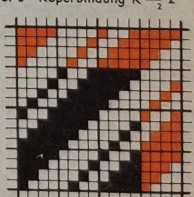


Abb. 6 $K\frac{5}{2}\frac{1}{4}z$

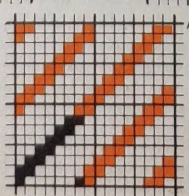


Abb. 7 $K\frac{2}{3}z$

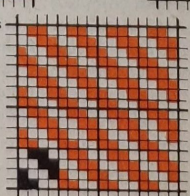


Abb. 8 $K\frac{2}{2}s$

b) Köperbindungen (*K*) erkennt man leicht an den quer über das Gewebe verlaufenden Köpergratlinien. Verlaufen diese Grate von unten links nach oben rechts, so bezeichnet man diesen Köper als *z*-Grat-Köper, umgekehrt als *s*-Grat-Köper. Bei gleicher Kett- und Schußdichte hat der Grat einen Winkel von 45°, ist die Kettdichte größer als die Schußdichte, verläuft der Grat steiler (Steilgratköper), bei kleinerer Kettdichte flacher (Flachgratköper). Der kleinste Köper hat das Kurzzeichen $K\frac{1}{2}z$ (Abb. 3) bzw. $K\frac{2}{1}z$ (Abb. 4). Bei ersterem liegt mehr Schußmaterial auf der rechten Warenseite (Schußköper), bei letzterem mehr Kettmaterial (Kettköper). Nach der Art des Grates kann man Ein- und Mehrgratköper unterscheiden (Abb. 5 und 6), eine weitere Art ist der Breitgratköper (Abb. 7). Hier verlaufen mehrere Kettfäden nebeneinander, wodurch der Grat stärker hervortritt. Bei den gleichseitigen Köpern (Abb. 8) hat das Gewebe auf beiden Warenseiten das gleiche Aussehen, im Bindungsrapport sind also gleich viele Ketthebungen und -senkungen. Hier gibt es daher keine Unterscheidung in Kett- und Schußköper, *z*- und *s*-Grat-Köper gibt es jedoch ebenfalls. — Köperbindungen sind im Griff weicher, haben einen fließenderen Fall und sind wärmender als Leinwandbindungen; sie eignen sich ferner zur Herstellung von Mischgeweben, wobei in Kette und Schuß verschiedenes Garnmaterial verwendet wird. So kann bei einem Schußköper z. B. als Kette Reyon und als Schuß Seide verwendet werden, wodurch das wertvollere Seidengarn auf die rechte Warenseite zu liegen kommt; die wenigen Bindungspunkte der Kette sind auf dieser Seite kaum sichtbar. Man erreicht so auch eine Verbilligung der Ware.

c) Atlasbindungen (*A*) haben als kleinste Rapportzahl 5. Es gibt entweder Schuß- oder Kettatlas. Der kleinste Schußatlas (Abb. 9) ist $A\frac{1}{4}$ (2). Der Schuß geht hier über 4 Kettfäden und unter 1 Kettfaden. Den entsprechenden Kettatlas $A\frac{4}{1}$ (2) zeigt Abb. 10. Der Abstand von einem Bindungspunkt zum anderen (jeweils auf der nächsten Kettlinie) bezeichnet man als Steigung. Die Größe der Steigung wird durch die Steigungszahl hinter dem Kurzzeichen in Klammern angegeben: (2), (3), (5) usf. Mit der Steigungszahl wird so durchgezählt, daß im Bindungsrapport jeder Kett- und Schußfaden nur einmal Bindung bekommt. Die Bindungspunkte dürfen sich nicht berühren. Die Kett- und Schußgarne können sich daher eng aneinanderlegen, wodurch dichte, glatte Gewebe entstehen. Durch die losere Fadenverkreuzung erhält man Gewebe mit sehr weichem Griff. Wie bei den Köpern kann auch bei den Atlasbindungen das wertvollere, schönere Garnmaterial auf die rechte Warenseite gebracht werden. Bekannte Stoffe in Atlasbindung sind Ärmelfutter, Charmelaine, Deutschleder, Duchesse, Duvetine, Kadett, Messaline, Moleskin, Satin, Velveton, Zanella.

Abgeleitete Bindungen entstehen dadurch, daß man Grundbindungen auf verschiedene Arten verändert. Häufig vorkommende Ableitungen der Leinwandbindung sind die *Ripsbindungen*. Bei ihnen bilden zwei oder mehr Kett- oder Schußfäden Rippen verschiedener Breite. Verlaufen die Rippen in Kettrichtung, so spricht man von Längs- oder Schußrips (Abb. 11), da man bei ihnen auf der rechten Warenseite in der Hauptsache Schußmaterial sieht. Verlaufen die Rippen in Schußrichtung, so bezeichnet man sie als Quer- oder Kettripse (Abb. 12); bei ihnen ist auf der rechten Warenseite in der Hauptsache das Kettmaterial sichtbar. Durch unterschiedliche Breite der Rippen oder durch Einfügen von leinwandbindigen Fäden entstehen gemusterte Ripse (Abb. 13). Beliebte Ableitungen der Leinwandbindung sind die *Panamabindungen*. Bei ihnen werden 2, 3 oder 4 Kettenfäden nebeneinander über die jeweils gleiche Anzahl Schüsse gehoben oder gesenkt. Es sind dies glatte Panamabindungen, sie haben würfelartiges Aussehen. Abb. 14 zeigt den Panama $P\frac{2}{2}$. Diese glatten Panamabindungen können ebenfalls vielseitig gemustert werden, man spricht dann von gemusterten Panamas (Abb. 15).

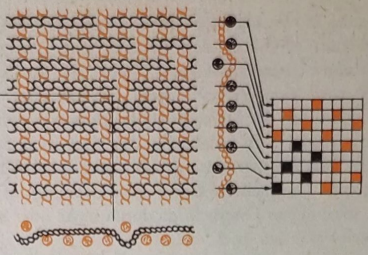


Abb. 9 Atlasbindung A $\frac{1}{4}$ (2)

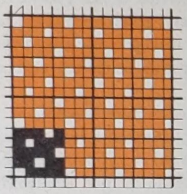


Abb. 10 A $\frac{4}{1}$ (2)

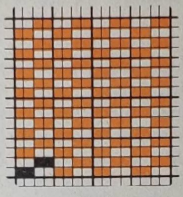


Abb. 11 RL $\frac{1}{1}$ 2 f

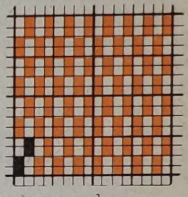


Abb. 12 RQ $\frac{2}{2}$

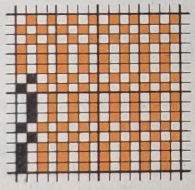


Abb. 13 RQ $\frac{3\ 1\ 1}{1\ 3\ 1}$

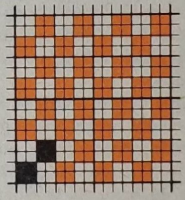


Abb. 14 p $\frac{2}{2}$

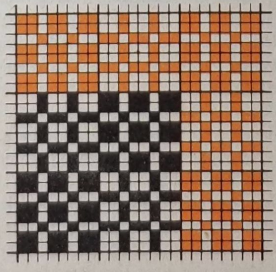


Abb. 15

WEBEREIVORBEREITUNG

Bevor mit dem Weben eines Stoffes begonnen werden kann, müssen eine Reihe von Vorarbeiten in einer besonderen Abteilung der Weberei, dem „Vorwerk", durchgeführt werden. Abb. 1 zeigt in einer Übersichtsskizze die wesentlichen Vorbereitungsarbeiten; zu ihrer Durchführung wird eine Vielzahl recht komplizierter Maschinen benötigt (vgl. zum Folgenden S. 496 f. mit der Darstellung des Handwebstuhles).

Die Vorarbeiten werden unterteilt in solche für das Kett- und Schußmaterial, wobei Arbeiten wie Färben oder Bleichen natürlich gemeinsam durchgeführt werden.

Beim *Doublieren* werden zwei oder mehrere Garne ohne Drehung auf eine Spule gebracht. Beim Spinnen dagegen wird einem Fasergebilde durch mehr oder weniger scharfe Drehung die nötige Festigkeit verliehen (s. S. 492).

Beim *Zwirnen* werden zwei oder mehrere bereits gefertigte Garne (Fäden) umeinander gedreht (gezwirnt); die Zuführung der Garne erfolgt über Lieferwalzen. Beim Spinnen dagegen tritt der Verzug durch ein Streckwerk ein (s. S. 494).

Ein weiterer Vorbereitungsgang ist das *Sengen* (s. S. 508).

Das *Bleichen* und *Färben* (s. S. 510) erfolgt vor dem Weben entweder in der Flocke oder im Garn (Strang). Die moderne Betriebsweise geht dahin, das Färben möglichst spät in den Arbeitsprozeß einzulegen, weil sämtliche Faser- bzw. Garnabgänge weiß bleiben, wodurch sich bei Wiederverarbeitung vielseitigere Verwendungsmöglichkeiten ergeben; damit haben sie auch einen höheren Wert.

Die Herstellung einer Kette kann durch Schären, Breitschären oder Zetteln erfolgen.

Beim *Schären* (Abb. 2) wird die Kette aus 300 bis 600 Kettfäden bandweise fertiggestellt. Auf dem Spulengestell befindet sich die entsprechende Anzahl Spulen mit dem Kettgarn. Die einzelnen Bänder werden auf dem Konus der Schärmaschine seitlich aneinandergesetzt, wobei jedes Band die zukünftige Kettdichte und -länge hat. Die Anzahl der Bänder setzt sich aus der Kettfadenzahl je Band und der Kettfadenzahl je Warenbreite zusammen. Auf dem Konus erfolgt also Zwischenlagerung des Kettmaterials. Anschließend wird die Kette in voller Breite auf den Kettbaum umgebäumt; dabei muß beachtet werden, daß alle Fäden gleichmäßige Spannung haben, vollzählig sind und daß schlechte Knoten beseitigt werden.

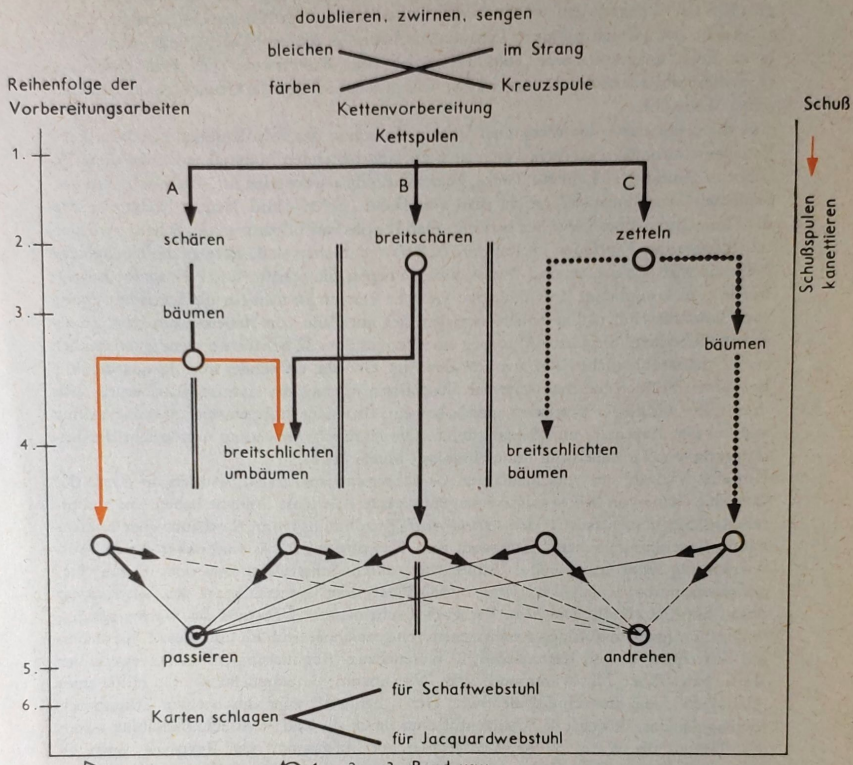
Beim *Breitschären* werden sämtliche Kettfäden in der verlangten Breite, Dichte und Länge gleichzeitig von den Spulen abgezogen. Das Schären erfolgt also direkt auf den Kettbaum ohne Zwischenlagerung. Dies ist nur möglich bei Geweben mit geringer Kettfadenzahl.

Beim *Zetteln* werden unabhängig von der verlangten Kettfadenzahl, Dichte und Länge die Kettfäden im Breitschärverfahren auf Zwischenbäume (Zettel) gelagert, welche die ungefähre spätere Kettbaumbreite haben. Mehrere dieser Zettelbäume werden hinter- und übereinander gelagert; unter gleichzeitigem Abzug werden sie auf den Kettbaum aufgewickelt (gebäumt), was meist mit dem Arbeitsgang des Schlichtens verbunden ist. Durch das Schlichten werden die Kettfäden gegen Reibung im Geschirr des Webstuhles geschützt, damit beim Abweben möglichst wenig Kettfadenbrüche entstehen.

Das *Passieren* einer Kette erfolgt im Vorwerk. In einem Gestell lagert der fertige Kettbaum, die Schäfte sind vor dem Kettbaum aufgehängt, und davor befindet sich das Webblatt (Riet). Die Kettfäden werden entsprechend der Bindung durch die Litzenaugen und die Blattlücken eingeführt (gestochen). Anschließend kommt der Kettbaum mit den Schäften und dem Blatt in den Webstuhl.

Das *Andrehen* einer Kette ist dann erforderlich, wenn dieselbe Bindung schon ein- oder mehrmals im Webstuhl abgewoben wurde. In diesem Fall entfällt das Passieren, die neue Kette kommt sofort in den Webstuhl und wird am Ende der alten, abgewobenen Kette angeknüpft (angedreht), die Enden der alten Kettfäden befinden sich dabei noch im Blatt und den Schäften. Das Andrehen kann von Hand oder mit der Andrehmaschine erfolgen.

Abb. 1 Webereivorbereitung schematisch



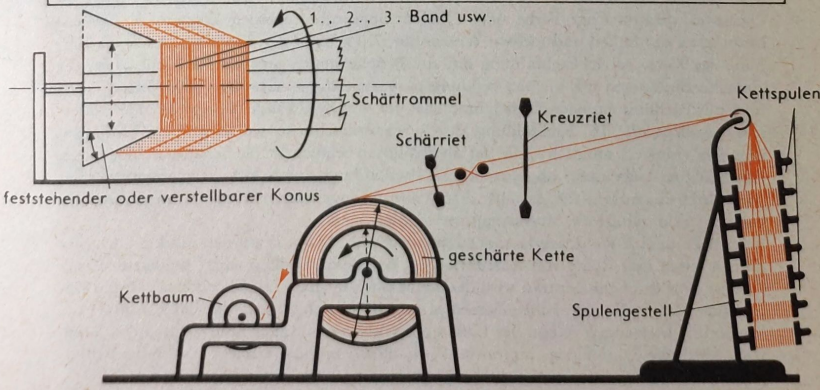


Abb. 2 Schärvorgang

WEBEREI

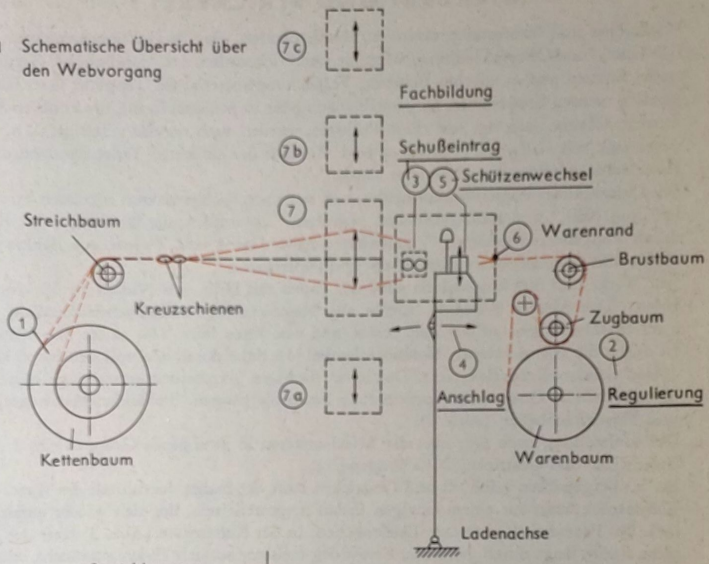
Das Weben selbst gehört zu den ältesten handwerklichen Tätigkeiten der Menschen. Aus primitivsten Webgestellen wurde in Jahrtausenden der Handwebstuhl entwickelt. Erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts kam der mechanische Webstuhl auf, jedoch gibt es auch heute noch ausgesprochene Handwebereien. Die Arbeitsweise des Handwebstuhles (s. S. 496) bildet auch heute noch in den wesentlichen Zügen die Grundlage der mechanischen Webstühle.

Aus der Benennung der Webereien kann meist schon das Fabrikationsprogramm dieser Betriebe entnommen werden. Nach dem zu verarbeitenden Material teilt man diese Betriebe in Baumwoll-, Leinen-, Tuch-, Seiden-, Roßhaarwebereien usf. ein. Nach dem vorhandenen Maschinenpark spricht man von Hand-, Schaft- und Jacquardwebereien. Bei der Herstellung eines Gewebes benötigt man für die Fachbildung soviel Schäfte, wie verschiedenbindige Kettfäden im Rapport (s. S. 496) enthalten sind. Beträgt diese Schaftzahl mehr als acht Schäfte, so sind Webstühle, bei denen die Schäfte durch Exzenter bewegt werden, zu kompliziert. Für derartige Gewebe verwendet man für die Schaftbewegung sog. Schaftmaschinen. Die Schäfte werden hier mit Hilfe von Hebemessern bzw. Hebeschaufeln bedient. Sind zum Abweben eines Stoffes über 32 Schäfte notwendig, so reichen auch Schaftstühle nicht mehr aus. Für derartige Gewebe verwendet man Jacquardstühle. Bei diesen Stühlen hat man statt der Geschirreinrichtung die Harnischvorrichtung. Mit ihrer Hilfe wird jeder Kettfaden einzeln bewegt, also nicht gruppenweise mittels Schäften wie bei den Exzenter- und Schaftstühlen. Die Harnischvorrichtung ermöglicht die Anfertigung von Geweben mit unbeschränkter Mustergröße.

Um eine Vielzahl der verschiedensten Gewebearten herzustellen, wurden im Laufe der Zeit eine Reihe von Webstuhlsystemen entwickelt. Alle diese Systeme haben vier Hauptarbeitsgänge gemeinsam: 1. den *Kettenverlauf* (Regulierung) vom Kettbaum über Streichbaum, Fadenkreuz, Schäfte, Zugbaum zum Warenbaum; 2. die *Fachbildung* durch Trittvorrichtung über Innen- oder Außentritte, durch Schaftmaschinen oder durch Jacquardmaschinen; 3. den *Schußeintrag* mittels Ober- oder Unterschlag; 4. den *Schußanschlag* durch das Riet (Blatt). Die Abb. 1 zeigt eine schematische Übersicht des Webvorganges, in der die allgemein gültigen Arbeitszentren eingezeichnet sind. Es sind dies: 1. Kettbaum mit Kettenbremse und Kettenablaß; 2. Warenabzug (Regulierung), d. h. Bewegung der Kette bzw. Ware (ab Warenrand) zum Warenbaum; 3. Schußeintrag mit Hilfe eines „Schützen", der die Schußspule trägt. Der „Schütze" wird durch einen Schlagstock (Schlagelement) bewegt; 4. Schützenführung durch die Lade und Schußanschlag durch das Riet an die Ware; 5. Schützenwechsel mit Steigkasten oder Revolver, wodurch Garne in verschiedener Farbe oder Qualität abgewoben werden können; 6. Leistenbildung an der linken und rechten Warenseite; 7. Fachbildung, bestimmt durch die Bindung der Ware. Bei der Fachbildung sind drei Möglichkeiten gegeben: 7a) Fachbildung für einfache Bindungen mit kleinen Bindungsrapporten durch Exzenter. Die Trittvorrichtung zur Fachbildung befindet sich innerhalb der Webstuhlwände (Innentritt) oder außerhalb (Außentritt); 7b) Fachbildung durch Schaftmaschinen, wobei größere Bindungsrapporte (Muster) möglich sind. Bei oberbaulosen Stühlen ist die Schaftmaschine neben den Schäften oder tiefer angebracht; 7c) Fachbildung durch Jacquardmaschinen. Hier wird durch einen Harnisch, der über dem Webstuhl angebracht ist, jeder Kettfaden einzeln betätigt, wodurch große Musterrapporte möglich sind.

Kurz nach dem 2. Weltkrieg kam der Düsenwebstuhl (Abb. 2) auf den Markt; auch hier gibt es schon eine Reihe von Ausführungen. Bei diesen Stühlen wird „schützenlos" gearbeitet. Für den Schußeintrag wird der Schußfaden in einen Luft- oder Wasserstrahl eingebettet. An Stelle des Schlagelementes treten Vorrichtungen, die einen Luft- bzw. Wasserdruck erzeugen. Wenn der Luft- oder Wasserstrahl unter Druck durch eine Düse tritt, wird der Schußfaden mitgerissen. Mit diesen Stühlen erreicht man hohe Schußzahlen von 400 Schuß pro Minute und mehr.

Abb. 1 Schematische Übersicht über den Webvorgang



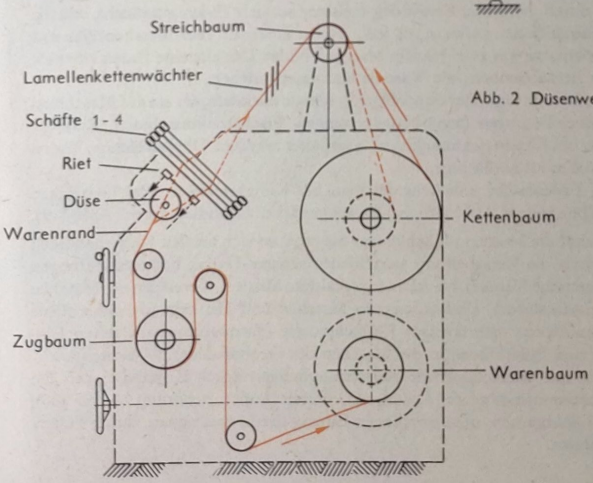


Abb. 2 Düsenwebstuhl (Seitenansicht)

WIRKEREI UND STRICKEREI I

Wirkereien und Strickereien erzeugen Maschenwaren. Das Produktionsprogramm umfaßt Unter- und Oberbekleidung, Strümpfe und Socken aller Art, Handschuhe, Gardinenstoffe, Spitzen und modisches Beiwerk, Verpackungsmaterial für Teppiche usw. Hauptsächlich werden Stoffbahnen hergestellt (flach oder in Schlauchform), die konfektioniert werden. Oberbekleidung, vor allem Pullover, werden auch regulär gefertigt, d. h. körpergerecht mit Hilfe von Zunehmen und Mindern der einzelnen Teile, die dann durch Kettelnähte miteinander verbunden werden.

Bei Damenfeinstrümpfen unterscheidet man zwischen flachgewirkten regulären Strümpfen „mit Naht" und rundgestrickten „nahtlosen" Strümpfen, die ihre endgültige Form durch Plastifizieren erhalten. Verarbeitet werden Garne und Zwirne aus Baumwolle, Wolle und Chemiefasern sowie Misch- und Papiergarne.

Auf Wirk- und Strickmaschinen wird der Faden mit Hilfe von Nadeln zu *Maschen* geformt. Eine Masche (Abb. 1) besteht aus Maschenkopf, zwei Maschenschenkeln und zwei Maschenfüßen; sie hat eine rechte und eine linke Seite. Die rechte Maschenseite ist durch die voll sichtbaren Maschenschenkel, die linke durch den voll sichtbaren Kopf (Maschenbogen) charakterisiert. Damit ein flächiges Warenstück entsteht, müssen sich die Maschen in Quer- und Längsrichtung ineinanderhängen. Sie bilden Maschenreihen und Maschenstäbchen (Abb. 2).

Der Herstellung nach teilt man die Maschenwaren in zwei große Gruppen ein: 1. Kuliergewirke und Gestricke, 2. Kettengewirke.

Bei Kuliergewirken (Abb. 2) und Gestricken läuft der Faden quer durch die Ware. Ein Warenstück kann aus einem einzigen Faden hergestellt sein, der sich wieder aufziehen läßt. Bei Fadenbruch entstehen Laufmaschen. In der Kettenware (Abb. 3) läuft der einzelne Faden längs durch die Ware. Es werden meistens so viele Fäden gebraucht, wie die Warenbreite Maschenstäbchen aufweist, da jeder Faden innerhalb *einer* Maschenreihe nur mit einer Nadel, höchstens mit zwei Nadeln Maschen bildet. Der einzelne Faden läßt sich nur schwer wieder heraustrennen; die Ware ist laufmaschensicher.

Die Maschenwaren können ein- oder doppelflächig sein, je nachdem, ob sie auf Maschinen mit einem oder zwei Fonturen (zwei Nadelbetten bei Flachstrickmaschinen, Zylinder und Rippenscheibe bei Rundstrickmaschinen) gearbeitet werden. Doppelflächige Waren sind dichter und voller als einflächige.

Nach der Art des Fadenlaufes unterscheidet man bei Kuliergewirken und Gestricken Grundbindungen (Beispiele in Abb. 4–6), bei Kettengewirken Grundlegungen (Abb. 7–9).

Überaus zahlreich sind die Mustermöglichkeiten. Sie ergeben sich bei den Kuliergewirken und Gestricken durch die Verarbeitung verschiedenfarbiger Garne, Fadenanhäufungen auf den Nadeln (plastische Muster), Nadelabzug (gerippte Muster), Verziehen der Maschen in Schräglage (Versatzmuster), Umhängen von Maschen und Henkeln (durchbrochene Muster), durch Einarbeiten mehrfarbiger Flächenmuster (Jacquardmuster), durch Einbinden von Futter und Plüschfäden in die Maschen des Grundfadens. Bei Kettengewirken ergibt sich eine fast unerschöpfliche Mustermöglichkeit durch Kombinationen der Grundlegungen (zusammengesetzte Legungen), durch bunte Schärung (s. S. 500), Verwendung von Effektgarnen, unterbrochenen Einzug der Legeschienen, durch Futter- und Schlingenlegungen.

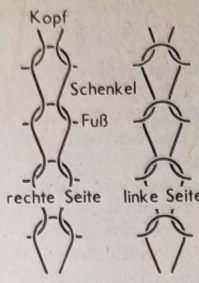


Abb. 1 Prinzip der Masche

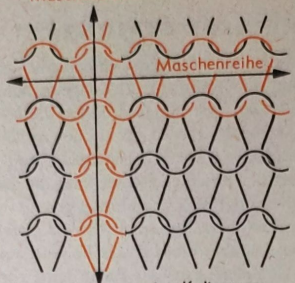


Abb. 2 Prinzip der Kulierware

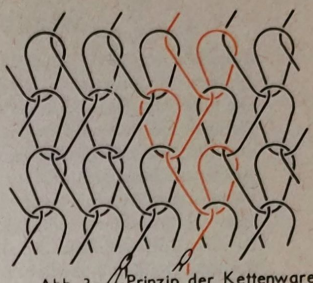


Abb. 3 Prinzip der Kettenware

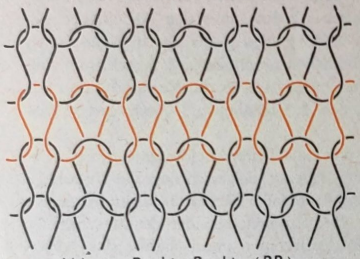


Abb. 4 Rechts/Rechts (RR)

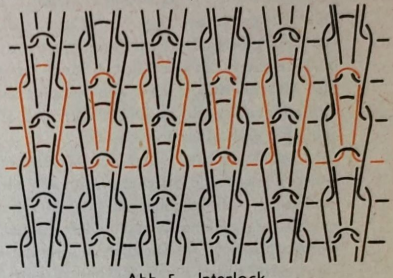


Abb. 5 Interlock

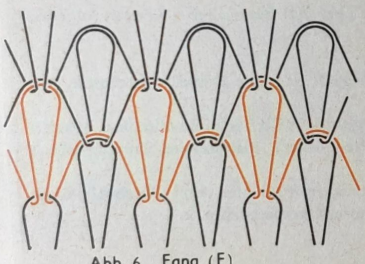


Abb. 6 Fang (F)

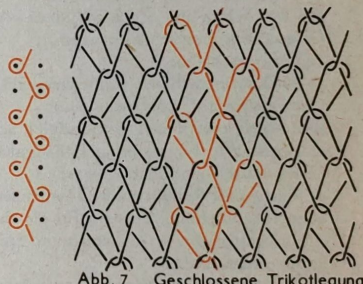


Abb. 7 Geschlossene Trikotlegung (unter 1 über 1)

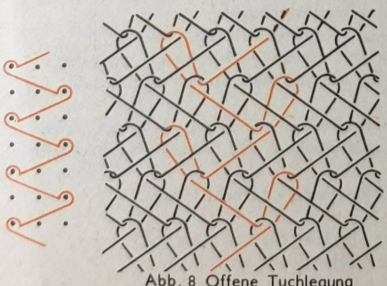


Abb. 8 Offene Tuchlegung (unter 2 über 1)

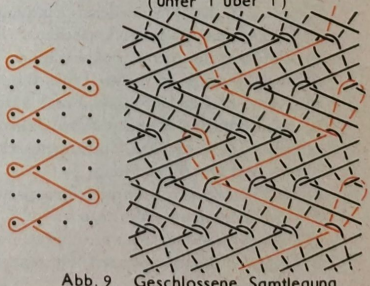


Abb. 9 Geschlossene Samtlegung (unter 3 über 1)

WIRKEREI UND STRICKEREI II

Zur Maschenbildung sind die Wirk- und Strickmaschinen mit Nadeln ausgerüstet. Es gibt zwei Haupttypen: 1. Spitzennadeln (Abb. 1), 2. Zungennadeln (Abb. 2).
Die Spitzennadeln sind in Nadelbarren befestigt und bilden die Maschen mit Hilfe von Platinen und Pressen. Die Zungennadeln werden einzeln beweglich in den Nadelkanälen von Nadelbetten (Flachstrickmaschinen), von Nadelzylinder und Rippscheibe (Rundstrickmaschinen) geführt. Nur bei der Raschelmaschine sind die Zungennadeln in einer Barre befestigt und bewegen sich bei der Maschenbildung gemeinsam auf und ab.
Die Maschenbildung erfolgt in Teilstufen. Bei Spitzennadeln unterscheidet man (Abb. 3a–3d): 1. Einschließen der alten Masche (die alte Masche wird aus dem Nadelhaken in Richtung Nadelfuß geschoben), 2. Fadenlegen (der Faden wird von einem Fadenführer gestreckt auf die Nadelschäfte gelegt), 3. Kulieren und eventuell Verteilen (der Faden wird zu Schleifen geformt), 4. Vorbringen (die Schleifen werden unter den Nadelhaken gebracht), 5. Pressen (durch die Presse werden die Nadelspitzen in die Zaschen gedrückt), 6. Auftragen (die alte Masche wird auf den Nadelhaken geschoben), 7. Abschlagen (die alte Masche rutscht über den Nadelhaken ab und hängt sich in die Kulierschleife). Bei Zungennadeln gibt es die Teilstufen: 1. Einschließen, 2. Fadenlegen, 3. Auftragen, 4. Abschlagen, 5. Kulieren (Abb. 4).
Die unterschiedliche Art der Maschenbildung dient als Unterscheidungsmerkmal zwischen Wirken und Stricken. Beim *Wirken* wird der Faden gleich nach dem Legen kuliert und damit die Maschengröße bestimmt; beim *Stricken* erfolgt die Maschenbildung durch einzeln bewegliche Zungennadeln nacheinander. Das Kulieren beendet den Maschenbildungsvorgang. Die Maschenbildung auf Kettenwirkmaschinen unterscheidet sich davon im wesentlichen durch das Fadenlegen, weil jede Nadel einen Faden durch Lochnadeln (Fadenführer) vorgelegt bekommt.
Bei den Wirk- und Strickmaschinen — es gibt über 700 Baumuster — können folgende Grundtypen unterschieden werden:
1. Wirkmaschinen:
a) Flachwirkmaschinen (Cottonmaschinen) : Regulär gewirkte Damenfeinstrümpfe und Oberbekleidung (fully fashioned);
b) Rundwirkmaschinen (Rundstühle): Schlauchgewirk in Rechts/Links-Bindung, Mustereinrichtungen für Farbringel, Fangmuster (Preßmuster), Plattierware, durchbrochene Ware, Futter- und Plattierware;
c) Flach- und Rundkettenwirkmaschinen : Meterware für Unter- und Oberbekleidung, Schneidhandschuhe, Zubehör für die Hutindustrie, Oberhemden u. a.
d) Raschelmaschinen: Gardinen und Spitzen.
2. Strickmaschinen:
a) Hand- und Motorflachstrickmaschinen: Meterware und regulär gestrickte Oberbekleidung in den verschiedenen Bindungen und Buntmusterungen;
b) Links/Links-Flachstrickmaschinen: Baby- und Kinderbekleidung, Pullover;
c) einfonturige Rundstrickmaschinen (nur mit einem Nadelzylinder ausgestattet): Schlauchgestrick in Rechts/Links-Bindung für leichte Unter- und Oberbekleidung mit und ohne Farbmusterungen, Futterware;
d) zweifonturige Rundstrickmaschinen (Rechts/Rechts-, Feinripp-, Interlock-, Achtschloß-, Jacquard- und Umhängemaschinen): Stoffbahnen und halbreguläre Stücke für Unter- und Oberbekleidung;
e) Links/Links-Großrundstrickmaschinen: halbreguläre Oberbekleidung.
3. Rundstrickstrumpfautomaten:
a) Einzylinderautomaten: Strumpfwaren aller Art, Teile für Strumpfhosen;
b) Doppelzylinderautomaten: Herrensocken, Kinder und Sportstrümpfe.

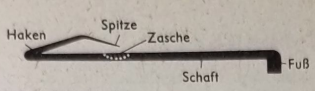


Abb. 1 Spitzennadel

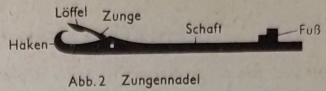


Abb. 2 Zungennadel

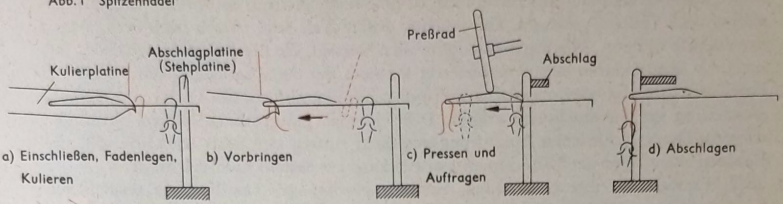


Abb. 3 Maschenbildung mit Spitzennadeln (Rundwirkmaschine)

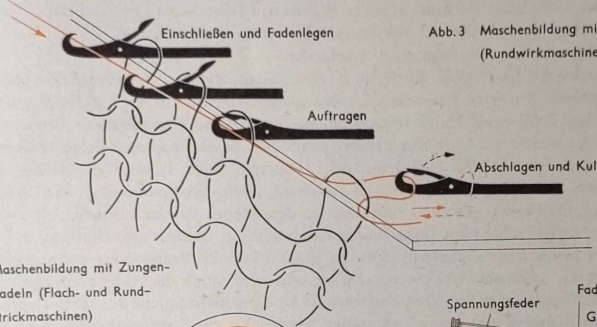


Abb. 4 Maschenbildung mit Zungennadeln (Flach- und Rundstrickmaschinen)

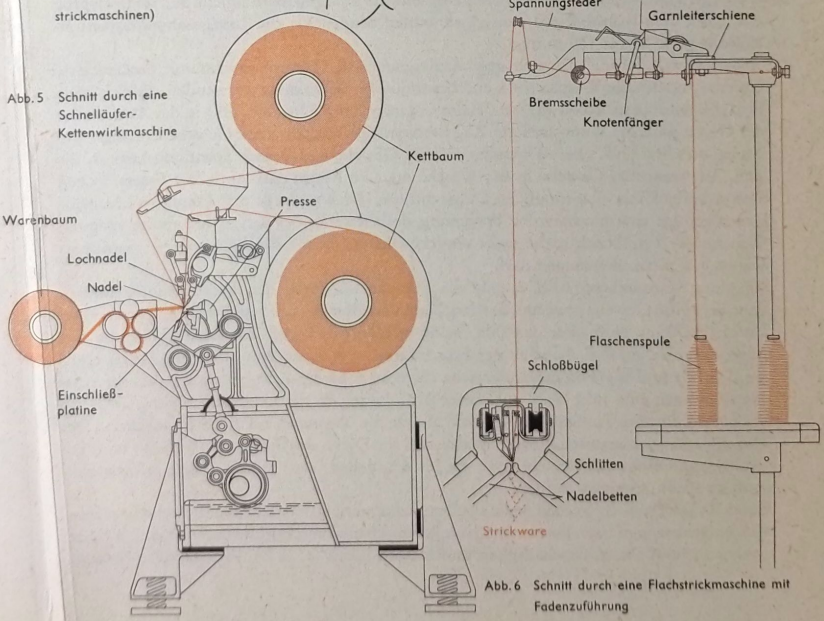


Abb. 5 Schnitt durch eine Schnellläufer-Kettenwirkmaschine

Abb. 6 Schnitt durch eine Flachstrickmaschine mit Fadenzuführung

AUSRÜSTUNG UND FÄRBEREI I

Eine Ware, die vom Webstuhl, vom Wirkstuhl oder von der Strickmaschine kommt, bezeichnet man als Stuhl- oder Rohware. Es gibt einige Artikel, die sofort nach dem Abweben zum Verkauf gelangen. Der weitaus größte Teil muß jedoch nach dem Weben einer Reihe weiterer Arbeitsgänge unterworfen werden, die die Rohware veredeln, verschönern und dadurch erst verkaufsfertig machen. Bei der Ausrüstung wird der Ware durch mechanische oder chemische Behandlung eine ansprechende Form gegeben und gleichzeitig ihr Gebrauchswert erhöht. Dabei können gelegentliche Mängel verborgen werden. Die verschiedenen Ausrüstungsverfahren richten sich nach dem Rohstoff, der Bindung, dem Wert der Ware, ihrem Verwendungszweck und nach der Mode.

Jede Rohware hat ihre bestimmten Ausrüstungsvorgänge. Textilien aus pflanzlichen Fasern müssen z. B. beim Rauhen, Sengen, Bleichen, Färben oder Drucken usf. anders behandelt werden als Gewebe aus tierischen oder synthetischen Fasern. Die Hilfsstoffe und Maschinen sind vielseitig und sehr verschieden.

Das *Sengen* bezweckt die restlose Entfernung von Fasern, die von der Oberfläche eines Gewebes abstehen. Es wird hauptsächlich bei glatten Baumwoll- und Zellwollwaren angewendet, bei Woll- und Halbseidenwaren nur in wenigen Spezialfällen. Besonders wichtig ist es für Waren, die bedruckt werden (damit abstehende Fäserchen keine unklaren Musterkonturen ergeben). Die Flammen- oder Gassenge (Abb. 1) wird am häufigsten verwendet. Bei dieser Maschine läuft die Rohware über den Spannriegel, die Breitspanntrommel, die Führungswalzen und dann an den offenen Brennern vorbei. Je zwei Brenner sind für die rechte bzw. linke Warenseite bestimmt; es kann also ein- oder zweiseitig gesengt werden. Anschließend läuft die Ware durch das Preßwalzenpaar und den Dampfkasten, die beide als Funkentöter dienen, und wird durch die Ablegevorrichtung abgelegt. Der Abstand von den Brennern und die Laufgeschwindigkeit der Ware richten sich nach dem Rohstoff und dem gewünschten Sengeffekt; die Laufgeschwindigkeit in Ware beträgt 60 bis 180 m/min.

Sanforisieren: „Sanfor" ist eine gesetzlich geschützte Markenbezeichnung. Sanforisierte Gewebe werden für Wäschestoffe und besonders für Bekleidung verwendet, die eine hohe Formbeständigkeit haben müssen. Beim Spinnen, beim Abweben und in der Ausrüstung der Garne wird die Ware stark auf Zug beansprucht, weshalb diese Gewebe in Länge und Breite gedehnt sind. Diese Dehnung ruft im Gewebe eine innere Spannung hervor, die sich löst, wenn das Gewebe in der Wäsche oder im Regen naß wird. Die Fasern ziehen sich dabei auf ihre ursprüngliche Länge zurück, die Ware geht ein. Durch das Sanforisieren erfolgt eine mechanische Stauchung des Gewebes, so daß es bei einem späteren Waschprozeß praktisch nicht mehr eingehen kann, da die Restdehnung bei Sanforgeweben 1% nicht übersteigen darf.

Bei einer Sanforanlage (Abb. 2) geht die Ware zuerst durch den Befeuchtungsraum, in dem versteifte Gewebe erweicht werden, damit das Gewebe der Stauchwirkung nachgeben kann. Die Ware läuft über den Filz, beide werden durch den beheizten Preßschuh fest gegeneinander gepreßt. Solange der Filz zusammen mit der Ware über die Walze läuft, werden Filz und Ware an der Außenseite (Strecke A bis B) mehr gedehnt als an der inneren. Kommen Filz und Ware aus dieser Krümmung in die Gegenkrümmung ab B, so wird die gedehnte Außenfläche *a* bis *a'* durch die Trommel auf *b* bis *b'* verkürzt. Der Durchmesser der auswechselbaren Walze und die Dicke des Filzes (zw. 6 bis 10 mm) bestimmen die Höhe der Stauchwerte, die bis 6% gehen; sind höhere Werte erforderlich, muß zweimal gestaucht werden.

Beim *Rauhen* (Abb. 3) werden meist aus dem Schußgarn durch feine Stahlhäkchen Faserenden herausgezogen bzw. Fasern zerrissen, wodurch eine voluminöse und lufthaltige Faserdecke entsteht. Die Wärmehaltigkeit und Saugfähigkeit (z. B. bei Flanellstoffen) gerauh-

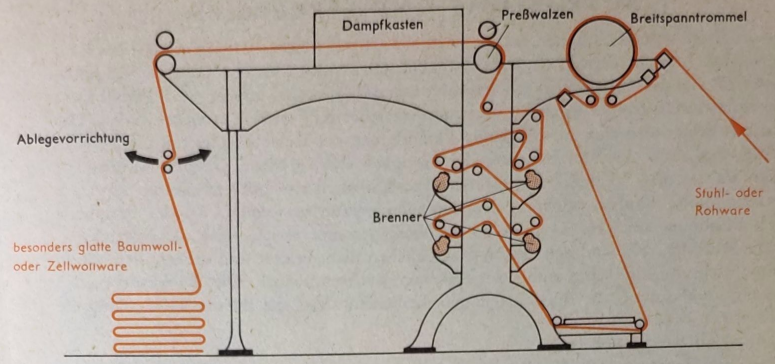


Abb. 1 Flammensenge

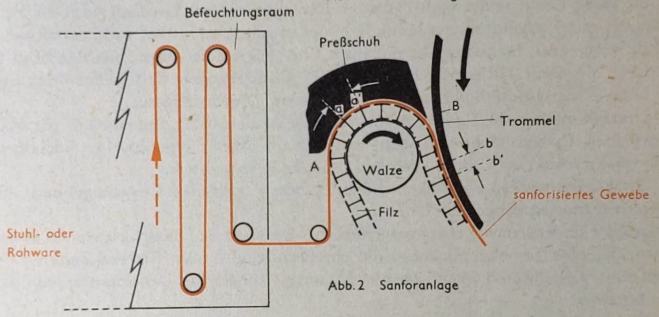


Abb. 2 Sanforanlage

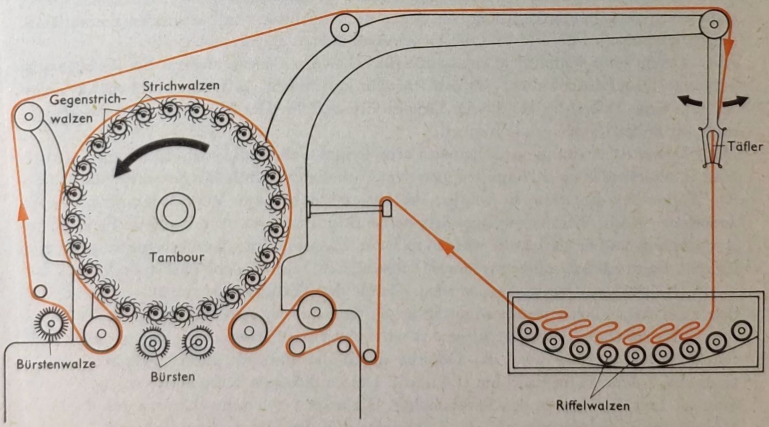


Abb. 3 Kratzen-Rauhmaschine (24 Walzen)

ter Stoffe ist wesentlich höher, auch sind diese Gewebe weicher. Durch die Art des Rauhens kann eine „im Strich" liegende Ware erzeugt werden (Strichrauhung, z. B. Lodenstoffe), wobei der Abperleffekt (= wasserabstoßende Wirkung) erhöht wird. Ferner kann ein wirr durcheinanderliegender und aufrechtstehender Faserflor erreicht werden. Das Rauhen bringt also eine entscheidende Veränderung des Gewebebildes mit sich, gleichzeitig aber auch eine Herabsetzung der Festigkeit des Gewebes. Gerauht werden vor allem Baumwoll-, Zellwoll- und Wollwaren; sie können ein- oder zweiseitig bearbeitet werden. Beim Rauhen wird die Kratzenrauhmaschine verwendet. An der Peripherie des Tambours sind 16, 24 oder 36 drehbar gelagerte Strich- und Gegenstrichwalzen vorhanden. Sie sind mit feinen Stahlhäkchen dicht besetzt und drehen sich alle in einer Richtung, die Krümmung der Häkchen wechselt jedoch. Die Ware läuft endlos durch die Maschine, die Bürsten reinigen die Strichwalzen, die Bürstenwalze glättet die Ware, der Täfler legt sie ab.

Drucken und Färben

Der Textildruck und die Textilfärberei sind verwandt. Beim Färben wird das Textilgut bis in die letzte Faser hinein vom Farbstoff durchtränkt, beim Drucken wird die Farbe dem Muster entsprechend nur auf bestimmte Stellen gebracht. Früher wurden nur Naturfarbstoffe verwendet, heute beinahe nur noch Chemiefarbstoffe (ihre Anzahl geht in die Tausende). Mit ihrer Hilfe erreicht man viele Nuancierungen und Differenzierungen sowie hohe Widerstandsfähigkeiten gegen Licht- und Wascheinflüsse.

Beim *Drucken* müssen die Farben zuvor verdickt werden (z. B. mit Stärke), damit die aufgedruckten Farben nicht verlaufen und unklare Muster ergeben. Die wichtigsten Druckverfahren sind der Direkt-, der Ätz- und der Reservedruck.

Beim *Direktdruck* werden die Farben auf weiße oder vorgefärbte Gewebe gebracht. Die Druckfarben müssen daher dunkler sein.

Der *Ätzdruck* findet stets auf einer vorgefärbten Ware statt. Auf diese Grundfarbe kommt mustermäßig eine Druckverdickung, die ein Oxydations- oder Reduktionsmittel enthält, das den vorgefärbten Grund zerstört (Ätzung), wonach das Druckmuster zum Vorschein kommt.

Beim *Reservedruck* werden auf diejenigen Stellen, die mustermäßig farbfrei bleiben sollen, Druckverdickungen aufgedruckt, die gegen die Aufnahme von Farbstoffen immun sind. Anschließend wird gefärbt und die Druckverdickung ausgewaschen.

Abb. 4 zeigt eine Walzendruckmaschine für acht verschiedene Farben. Bei ihr sind acht gravierte Druckwalzen dicht um den Presseur angebracht. In jedem Farbbehälter befindet sich eine Auftragwalze, die die Druckwalze anfärbt. Der Mittläufer und das Drucktuch verhindern Farbverwischungen.

Die *Färberei* ist ein umfangreiches und schwieriges Gebiet, das viel Erfahrung verlangt. Man unterscheidet zwei Hauptgruppen von Farbstoffen, nämlich substantive und adjektive Farbstoffe. Bei ersteren werden die Fasern direkt ohne Verwendung von Beizen dauerhaft gefärbt, bei der zweiten Gruppe benötigt man für eine dauerhafte Färbung bestimmte Beizen. Die Farbstoffe werden meist in Wasser gelöst; diese Lösungen nennt man Flotten. Beim Färben müssen sie meist kochend heiß sein, manche Farbstoffe können lauwarm (Kaltfärberei) verwendet werden. Damit das Textilgut gleichmäßig anfärbt, werden zwei Maschinensysteme angewandt. Beim ersten System zirkuliert die Farbflotte durch das ruhende Textilgut; diese Art wird meist zur Färbung von Fasern angewandt. Beim zweiten System wird das Gewebe durch die stehende Flotte gezogen. Abb. 5 zeigt eine solche Färbemaschine (Foulard). Die zu färbende Ware läuft vom Stückbaum über die Leitwalze durch den Farbbehälter. Die beiden Quetschwalzen pressen die Flotte vollständig in das Gewebe ein, das anschließend in den Trockenraum kommt.

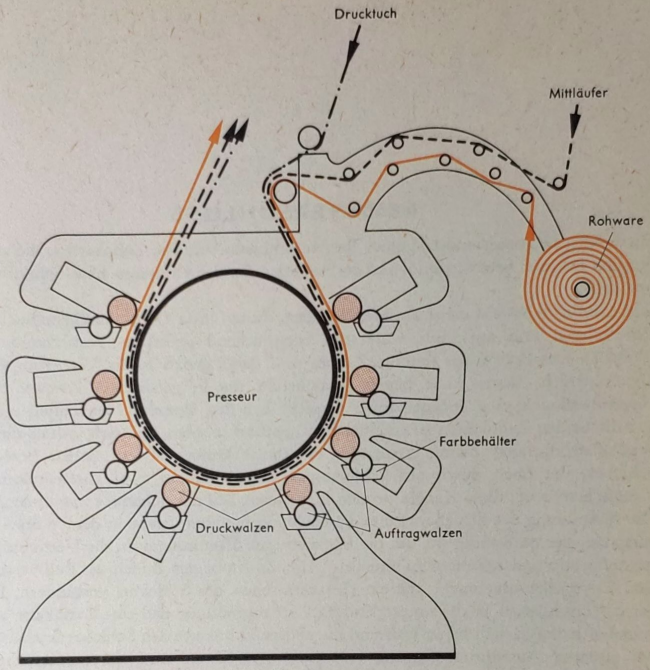


Abb. 4 Walzendruckmaschine

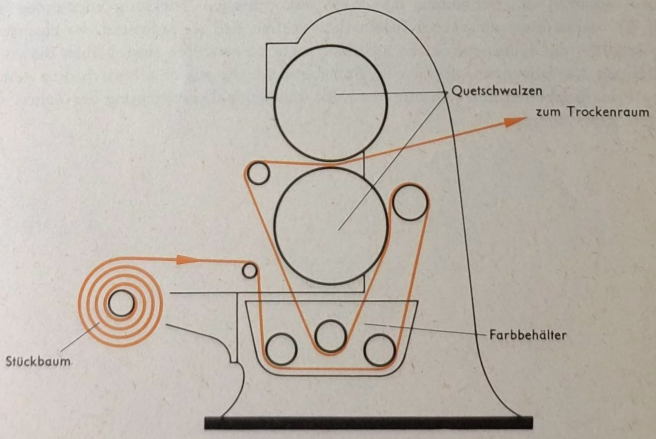


Abb. 5 Färbemaschine (Foulard)

REISSVERSCHLUSS

Die beiden Hauptbestandteile eines Reißverschlusses sind die Zahnketten, die an einem Streifen aus Stoff befestigt sind, und der Schieber, der den Öffnungs- bzw. Schließvorgang besorgt.

Die Zahnkette besteht meist aus Metallzähnen, die auf ihrer Oberseite kleine buckelartige Erhöhungen und auf ihrer Unterseite entsprechend geformte Vertiefungen tragen (Abb. 1). Der Buckel des unteren Zahnes paßt dabei genau in die Vertiefung des darüberliegenden Zahnes. Die beiden Zahnketten, die in geöffnetem Zustand einander gegenüberliegen, sind gegeneinander versetzt. Um den Verschluß zu schließen, müssen nur die beiden Zahnketten so aufeinander zugeführt werden, daß sich jeweils die beiden gegenüberliegenden Zähne ineinander verzahnen können. Diese Arbeit besorgt der Schieber, der oben durch ein keilförmiges Metallstück in zwei auseinanderlaufende Kanäle geteilt ist; diese Kanäle werden im unteren Teil des Schiebers zusammengeführt. Die Ausbildung des Schiebers führt die beiden Zahnketten genau in dem Winkel aufeinander zu, der notwendig ist, um die buckelartigen Erhöhungen in die Vertiefungen des gegenüberliegenden Zahnes zu schieben (Abb. 2). An beiden Enden des Reißverschlusses sind Endstücke angebracht, die ein Herausrutschen des Schiebers verhindern. Bei teilbaren Verschlüssen ist das untere Endstück so ausgebildet, daß eine Zahnkette aus dem Schieber herausgleiten kann, während die andere Zahnkette den Schieber festhält.

Bei anderen Ausführungsformen von Reißverschlüssen sind die Schließketten aus Kunststoffen (z. B. Perlon) hergestellt. Daraus ergibt sich eine von der Bauart des Metallzahnes abweichende Form. Die Schließketten bestehen hier nicht mehr aus einzelnen Zähnen, sondern aus Schlaufen, die durch eine spiralige Wicklung entstanden sind (Abb. 3). Verschlüsse dieser Art haben den Vorteil, daß sie aufgrund der elastischen Eigenschaften des Kunststoffes durch Reißen nicht zu zerstören sind. Neben diesen beschriebenen Ausführungen gibt es eine Reihe anderer, die jedoch alle nach dem geschilderten Prinzip arbeiten und sich nur durch die unterschiedliche Prägung der Zähne voneinander unterscheiden.

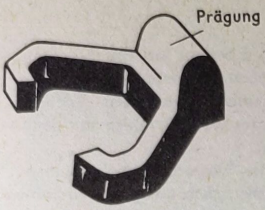


Abb. 1a

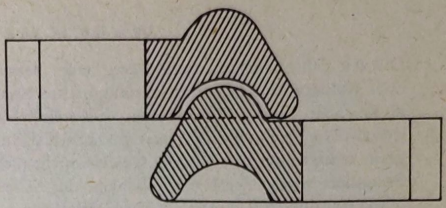


Abb. 1b

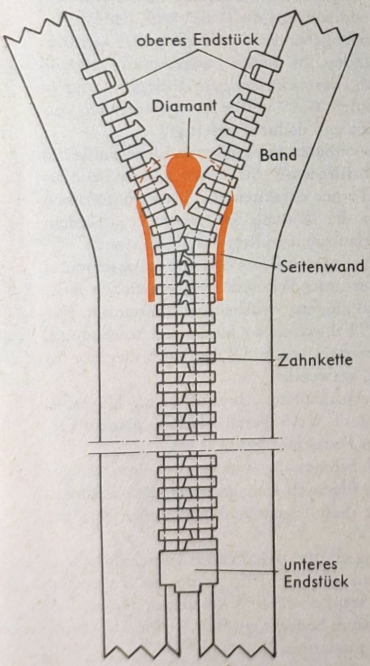


Abb. 2
Reißverschluß mit Metallschließketten

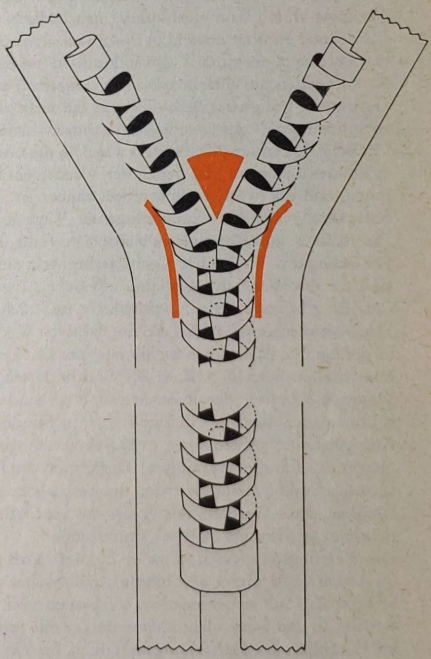


Abb. 3
Reißverschluß mit Kunststoffschließketten

WASCHMITTEL

Die seit Jahrhunderten verwendete, leicht herstellbare Seife besteht aus den Natrium- oder Kaliumsalzen höherer Fettsäuren. Ihre Nachteile ergeben sich daraus, daß sie nur in weichem Wasser (Regenwasser, kalkfreies Wasser) mit einem brauchbaren Ergebnis wäscht. Die vielerorts im Wasser gelösten Kalziumsalze (hartes Wasser) bilden mit Seife graue Schmieren, die sich vom Gewebe nicht mehr ablösen.

Besonders wegen der Empfindlichkeit der Seifen gegenüber Wasserhärte begann man schon vor über 100 Jahren mit der Herstellung der sog. synthetischen waschaktiven Substanzen (WAS), die in hartem wie in weichem Wasser etwa gleich gute Waschwirkung besitzen.

Waschaktive Substanzen (WAS) sind Hauptbestandteile aller Waschmittel und wegen ihrer „Grenzflächenaktivität" in erster Linie für deren Waschkraft maßgeblich. Zu dieser Gruppe rechnet man Seife und andere Stoffe mit seifenartigem Verhalten, die größtenteils aus Erdölprodukten oder chemisch gespalteten Fetten durch Synthese gewonnen werden.

Poly- oder Komplexphosphate sind in erheblichem Umfang in einem guten Waschmittel vorhanden. Sie machen die Wasserhärte und die Schwermetallsalze, z. B. des Eisens und Mangans, durch Komplexbindung unschädlich und steigern die Waschkraft der WAS.

Bleichende Substanzen sind in Form von sauerstoffabgebenden Verbindungen, sogenannten Persalzen, in allen Vollwaschmitteln vorhanden. In heißer Lauge, etwa oberhalb 60°C, spalten sie bleichwirksamen Sauerstoff ab, der bei richtiger Dosierung und in Gegenwart geeigneter Stabilisatoren die nicht durch WAS völlig zu entfernenden Verschmutzungen (z. B. Obstflecken) oxydativ bleicht und dadurch beseitigt.

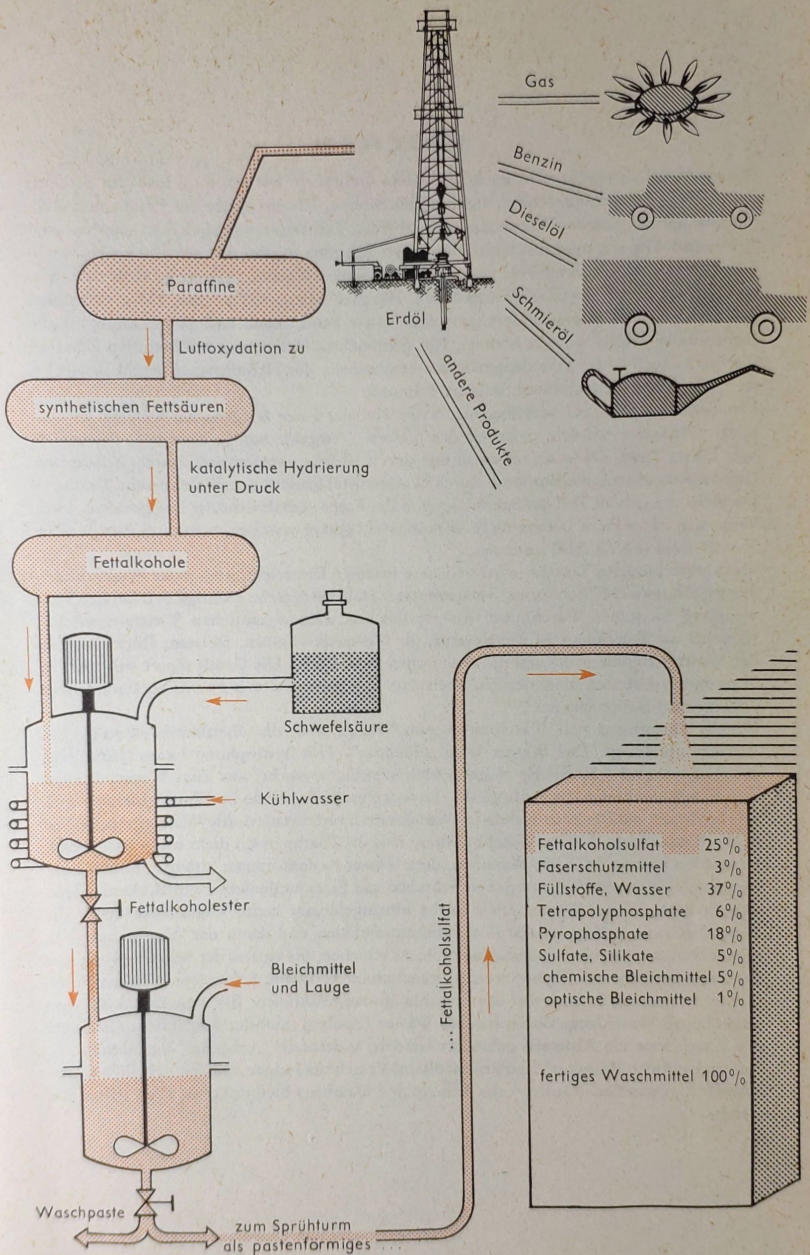
Optische Aufheller (Weißtöner) wandeln die unsichtbaren ultravioletten Lichtstrahlen in sichtbares Licht um und geben der Wäsche ein brillantes Weiß. Voraussetzung ist allerdings, daß die Wäsche einwandfrei sauber ist. Ferner enthalten die Waschmittel noch Substanzen, die die schmutztragende Wirkung der Waschlauge erhöhen, außerdem Faserschutz- und Zerstäubungsmittel, Parfüms, Hautschutzmittel, Farbstoffe usw.

Die neben den Woll- oder Kochwaschmitteln angebotenen Fein- und Spezialwaschmittel sind für das Waschen „spezieller" Wäsche-, Faser- oder Schmutzarten entwickelt worden. Es gibt anionaktive, kationaktive und nichtionogene waschaktive Substanzen. Für Haushaltwaschmittel finden die anionaktiven WAS bei weitem am häufigsten Anwendung, in geringerem Maße auch nichtionogene. Die kationaktiven WAS werden bisher nur im industriellen Bereich, z. B. in der Textilindustrie, verwendet.

Wichtige Vertreter der anionaktiven WAS sind Alkylsulfate, Alkylsulfonate, Alkylarylsulfonate, während als Beispiele für nichtionogene WAS Fettalkoholpolyglykoläther, Alkylphenolpolyglykoläther, Polyglykolester von Fettsäuren genannt seien.

Netzkraft, Emulgiervermögen, Dispergier- und Schutzkolloidwirkung, Schmutztragevermögen und Schaumkraft sind die wesentlichen Eigenschaften, an denen die Leistungsfähigkeit eines Waschmittels gemessen wird; alle diese Eigenschaften kommen nur bei richtiger Anwendung voll zur Entfaltung.

Die Waschmittel müssen in naher Zukunft auch noch die zusätzliche Eigenschaft haben, im Abwasser in kurzer Zeit biologisch abbaubar zu sein (s. S. 272), weil sonst die Gefahr besteht, daß mit zunehmendem Verbrauch von synthetischen WAS unsere Flüsse, besonders an den Staustufen, immer stärker mit Schaum bedeckt würden. — Die Abb. zeigt im Überblick das Herstellungsverfahren für ein modernes Waschmittel.


Gas
Benzin
Dieselöl
Schmieröl
andere Produkte
Erdöl
Paraffine
Luftoxydation zu
synthetischen Fettsäuren
katalytische Hydrierung
unter Druck
Fettalkohole
Schwefelsäure
Kühlwasser
Fettalkoholester
Bleichmittel
und Lauge
Waschpaste
zum Sprühturm
als pastenförmiges ...
... Fettalkoholsulfat
Fettalkoholsulfat 25%
Faserschutzmittel 3%
Füllstoffe, Wasser 37%
Tetrapolyphosphate 6%
Pyrophosphate 18%
Sulfate, Silikate 5%
chemische Bleichmittel 5%
optische Bleichmittel 1%
fertiges Waschmittel 100%

WASCHEN

100 kg Haushaltwäsche sind nach normalem Gebrauch mit etwa 1,8 bis 4 kg Schmutz verunreinigt, der hauptsächlich aus fettigen Stoffen, Eiweiß sowie aus Staub- und Rußteilchen besteht. Solcher Schmutz ist zum größten Teil wasserunlöslich oder sogar wasserabweisend. Die chemische Analyse dieser Art Schmutz ergibt, daß aus 100 kg Haushaltwäsche etwa 900 g eiweißfreie organische Substanz (Wachse, Alkohole, Kohlenwasserstoffe u. a.), 300 g Eiweiße (Hautteilchen, Härchen usw.), 300 g Fette, 150 g Fettsäuren aus Schweiß und Talgabsonderungen usw. sowie Sand, Staub und andere anorganische Bestandteile isoliert werden können. Ein gebrauchtes Hemd ist mit Fettstoffen behaftet, die bis zu 0,25% des Hemdengewichtes ausmachen; der Hemdkragen enthält sogar bis zu 1,2% seines Gewichtes an fettigem Schmutz.

Der Schmutz kann auf verschiedene Weise von der Faser festgehalten werden: mechanisch (Pigmente werden zwischen den Fasern „festgeklemmt"), chemisch (Farbstoffe von Obst, Tinte, Öl usw., teilweise nur durch Bleichen entfernbar), durch Adsorption (schwächere chemische Bindung, durch Waschmittel lösbar), durch elektrische Kräfte.

Da meist der größte Teil des Schmutzes von der Faser verhältnismäßig fest gehalten wird, kann man mit reinem Wasser nicht wirkungsvoll genug waschen, man muß dem Wasser Waschmittel (vgl. S. 514) zusetzen.

Stark verschmutzte Wäsche wird zunächst in einer Einweichmittel- oder Waschmittellösung eingeweicht. Bei normal verschmutzter Haushaltwäsche erübrigt sich bei der Verwendung moderner Waschmittel das Einweichen. Den eigentlichen Waschprozeß bestimmen die Zeitdauer, die Temperatur, die Mechanik (Reiben, Bürsten, Einwirkungen der Waschmaschine u. ä.) und die chemischen Wirkungen. Die Größe dieser Faktoren ist in gewissen Grenzen veränderlich, doch darf in keinem Fall ein Faktor zu stark betont oder vernachlässigt werden.

Durch Hinzufügen von Waschmittel zum Wasser wird die Oberflächenspannung des Wassers erniedrigt. Das Wasser wird „flüssiger". Das hydrophobe (wasserfeindliche, wasserabweisende) Ende des Waschmittelmoleküls versucht, aus dem Wasser herauszukommen, während das hydrophile (wasserfreundliche) Ende im Wasser bleiben will. Infolgedessen sind bei ausreichender Waschmittelkonzentration alle Wassergrenzflächen (z. B. Wasser/Luft, Wasser/Waschbehälter, Wasser/Wäsche usw.) dicht mit Waschmittelmolekülen besetzt. In ihrem Bemühen, dem Wasser zu entkommen, drängen sich Waschmittelmoleküle auch in die zwischen Schmutz und Faser stellenweise vorhandenen kleinsten Spalten, in die Wasser allein nicht hineingelangen kann. Unterstützt durch die Waschmechanik gelingt es den Waschmittelmolekülen und damit der Waschlauge, sich immer weiter zwischen Faser und Schmutz zu schieben, bis zuletzt der Schmutz ganz von der Faser getrennt ist. Ebenso werden miteinander verklebte Schmutzteilchen sowie Öl und Fett fein zerteilt und von der Waschlauge aufgenommen. Bis zum Ersatz der nun schmutzigen Waschlauge durch frisches Wasser (Spülen) muß der fein zerteilte Schmutz der Waschlauge am Absetzen gehindert werden, andernfalls „vergraut" die Wäsche.

Unterschiedliche Fasern und unterschiedliche Verschmutzungen müssen natürlich unterschiedlich gewaschen werden – das Prinzip des Waschens bleibt aber in allen Fällen das gleiche.

Abb. 1 Waschmittel löst sich im Wasser zur (neutralen) Waschlauge

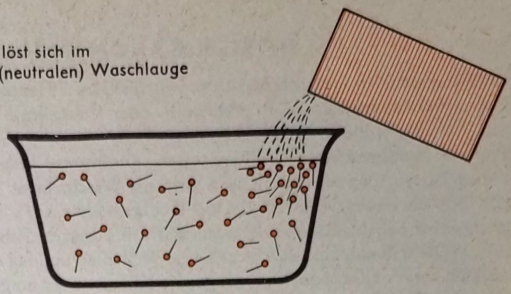


Abb. 2 Waschmittelmolekül schematisch

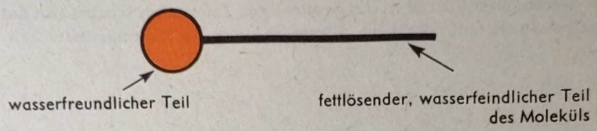


Abb. 3 Waschmittel greift Schmutzpartikeln auf der Gewebefaser an

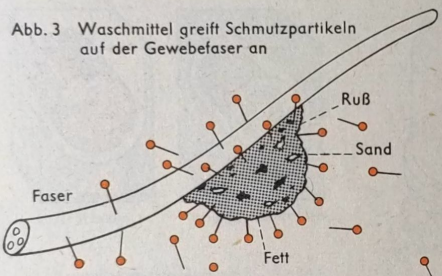


Abb. 4 Schmutzpartikeln werden abgedrängt

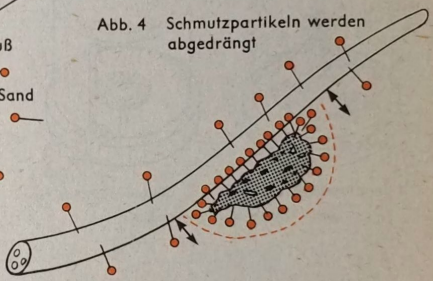


Abb. 5 Schmutzpartikel ganz umhüllt (quasi wasserlöslich geworden)

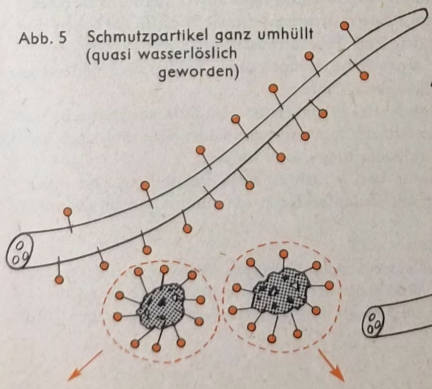
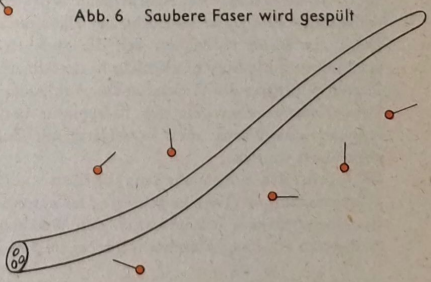


Abb. 6 Saubere Faser wird gespült

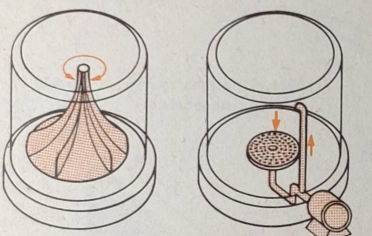


WASCHMASCHINEN

Bei Waschmaschinen unterscheidet man prinzipiell zwei Hauptgruppen:

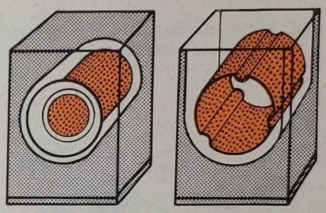
1. Bottichwaschmaschinen (z. B. Rührwerk- oder Waschflügelmaschinen, Düsenmaschinen [Abb. 1], Wellenradmaschinen) und
2. Trommelwaschmaschinen (Vollautomaten, Automaten, Teilautomaten; Abb. 2).

Bei allen Bottichwaschmaschinen wird die Wäsche beim Waschgang *schwimmend* in einem Bottich bewegt (für 1,5–2,5 kg Trockenwäsche etwa 40–60 l Wasser). Die Bewegung wird bei der Rührwerkmaschine durch langsam drehende Rührflügel erzeugt, bei der Wellenradmaschine durch das flache Wellenrad und bei der Düsenmaschine durch aus Düsen herausströmende Waschlauge, die immer wieder umgewälzt wird. Die Bottichwaschmaschinen sind beheizt, haben eine Laugenpumpe und sind im allgemeinen mit einer Teilautomatik ausgestattet, d.h., Temperatur und Waschzeit können beliebig eingestellt werden. Nach Erreichen der gewünschten Temperatur schaltet sich das Rührwerk oder Wellenrad ein und wäscht die Wäsche so lange, bis die eingestellte Zeit abgelaufen ist.



Rührflügelmaschine Düsenwaschmaschine

Abb. 1 Bottichwaschmaschinen



a) frontalbeschickt b) mantelbeschickt

Abb. 2 Trommelwaschmaschinen

Bei den Trommelwaschmaschinen (Abb. 2a und 2b) wird eine gelochte Stahltrommel in einem Laugenbehälter während des Waschganges abwechselnd nach beiden Seiten gedreht. Die Trommel hat innen Mitnehmerrippen, die die Wäsche aufheben und sanft in die Lauge zurückfallen lassen (für 5 kg Trockenwäsche etwa 25 l Wasser).

Der *Vollautomat* läßt die Arbeitsgänge Vorwäsche, Hauptwäsche, Spülen und Schleudern selbsttätig ohne jegliches Zutun der Hausfrau ablaufen.

Beim *Automaten* vollziehen sich die gleichen Arbeitsgänge ebenfalls automatisch, nur schleudern diese Maschinen nicht in derselben Trommel; zum Schleudern muß nach dem letzten Spülgang die Wäsche in eine Schleuder umgeladen werden.

Beim *Teilautomaten* regeln sich Temperatur und Waschzeit nach Einstellung von selbst, lediglich das Wasser muß von Hand mit Zulaufschlauch ein- und mit Laugenpumpe abgelassen werden.

Bauelemente von Waschmaschinen

Wasserstandsregler (Druckwächter): Die automatische Steuerung des Wassereinlaufs und des Wasserniveaus erfolgt durch den Wasserstandsregler oder Druckwächter (Abb. 3). Er besteht aus einer Membran, die bei steigendem Druck nach oben durchgebogen wird

und einen darüber befindlichen Kontakt betätigt. Je nach der gewünschten Schalthöhe (in mm Wassersäule gemessen) lassen sich damit elektrisch verschiedene Vorgänge wie Wassereinlauf, Wasserstop usw. auslösen. Da das Spülen der Wäsche und die Feinwäsche mit einem größeren Flottenverhältnis (Verhältnis von Trockenwäsche zu Wasser)

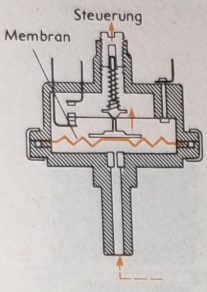


Abb. 3 Druckwächter

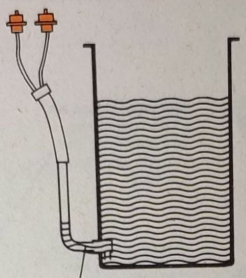


Abb. 4

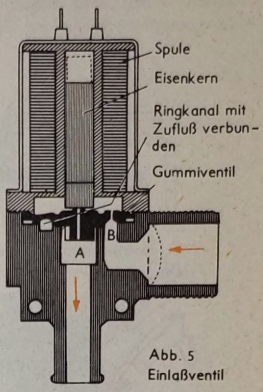


Abb. 5 Einlaßventil

vorgenommen wird als die Vor- und Hauptwäsche (1:7 gegenüber 1:5), werden zwei Druckwächter zur Einstellung des niederen und erhöhten Wasserniveaus benötigt. Sie sind gemeinsam mit Gummischläuchen über einen Verteiler an das Geberrohr, das in den Laugenbehälter hineinragt, angeschlossen. Die im Geberrohr und in den Gummischläuchen befindliche Luftsäule wird mit steigendem Wasserniveau im Laugenbehälter komprimiert und wirkt so auf die Membran (Abb. 4).

Das *Einlaßventil* arbeitet in Abhängigkeit von dem Druckwächter und wird als Einfach- (Abb. 5) oder als Doppelventil ausgeführt. Im spannungslosen Zustand ruht der Eisenkern auf dem Gummiventil und verschließt die Öffnung A. Da die aktive Fläche, auf die der Wasserdruck wirken kann, oberhalb des Ventils größer ist als unterhalb, wird die Membran fest auf den Ventilsitz gedrückt, das Wasser versperrt sich also durch den eigenen Druck selbst den Weg. Legt man Spannung an die Spule, wird der Magnetkern

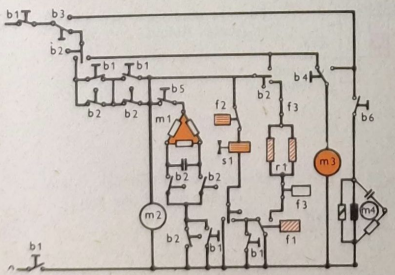


Abb. 6 Schaltung eines Waschautomaten

in die Spule hineingezogen und gibt die Öffnung A frei. Über die Öffnungen A und B erfolgt nun ein Druckausgleich; der von unten auf die Gummimembran wirkende Druck wird größer und diese hebt sich vom Ventilsitz ab. Das Öffnen und Schließen des Ventils erfolgt immer etwas verzögert, so daß nahezu schlagfreies Arbeiten gewährleistet ist.

Vom *Programmsteuergerät* aus werden die wichtigsten Impulse ausgelöst, die über andere Schalt- und Regelorgane den Programmablauf steuern (Abb. 6, S. 519). Das Programmsteuergerät ist die Zentrale der Maschine. Es besteht aus Antrieb, Re-

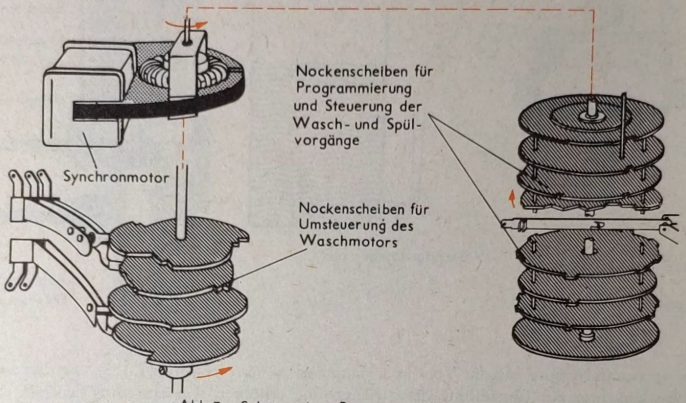


Abb. 7 Schema des Programmschaltwerkes

versierer (Umsteuergerät), Waschzeitwähler (Zeitdehner), Schrittschaltwerk, Programmschaltwerk. Der Antrieb des gesamten Programmsteuergerätes erfolgt durch einen Synchronmotor, der über Zahnräder verschiedene Nockenscheiben bewegt. Jeder Nockenscheibe wird durch die äußeren Segmente ein bestimmtes Programm aufgeprägt (Abb. 7). Durch Federkontakte werden diese Segmente abgetastet und bewirken so beispielsweise die Umsteuerung des Waschmotors (Abb. 8) oder ermöglichen über den Waschzeit-

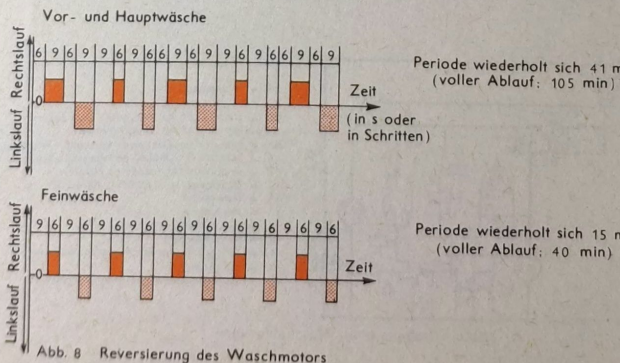


Abb. 8 Reversierung des Waschmotors

wähler — je nach Verschmutzung der Wäsche — die Einstellung längerer oder kürzerer Vor- und Klarwaschzeiten.
Ein Schrittschaltwerk hat die Aufgabe, die konstante Drehzahl des Synchronmotors in eine Schrittbewegung umzusetzen. Mit diesen Schritteinheiten läßt sich eine klare Programmierung und Steuerung der Wasch- und Spülgänge durchführen.
Ein Steuerdiagramm des Programmschaltwerkes zeigt Abb. 9: Die Heizung und das Einlaßventil (niederes Niveau) sind nicht während des gesamten dargestellten Bereiches eingeschaltet. Das Zu- und Abschalten der Heizung übernimmt ein Thermostat (s. S. 40), während das Einlaßventil durch den Druckwächter betätigt wird.

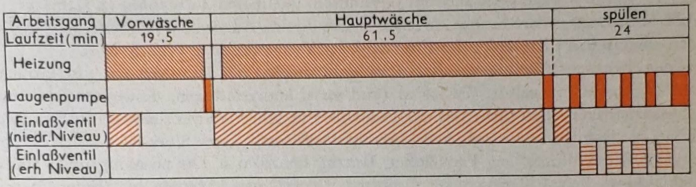


Abb. 9 Steuerdiagramm des Programmschaltwerkes eines Waschautomaten

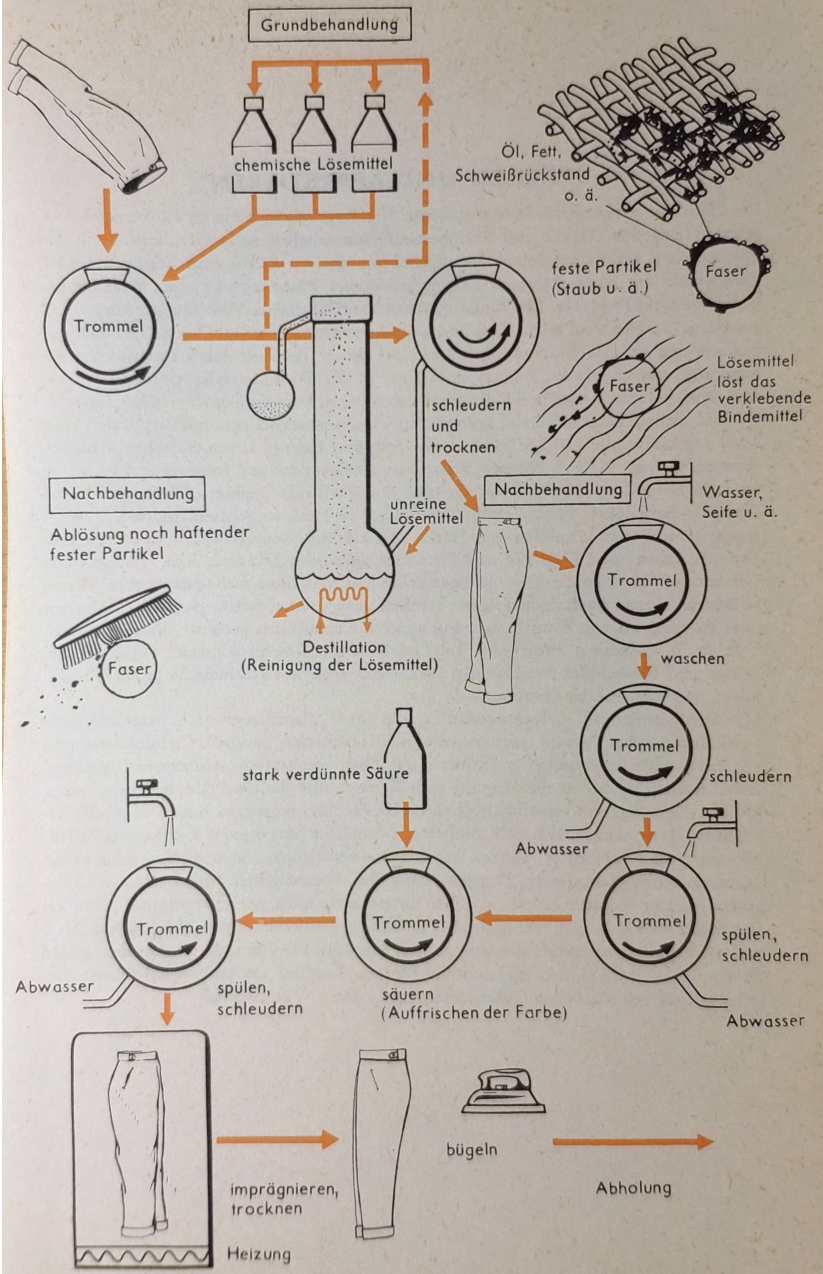
Heizung und Thermostat: Die Waschtemperatur kann stufenlos zwischen etwa 30 und 100 °C eingestellt werden. Zur Temperaturregelung wird parallel zu den Heizstäben im Laugenbehälter der Fühler des Thermostaten angeordnet, der das Ein- und Ausschalten der Heizung übernimmt. Durch diese Regelung wird die auf der Einstellscheibe gewählte Temperatur der Lauge in einem bestimmten Toleranzbereich gehalten.
Zum Abführen des Wasch- und Schleuderwassers dient eine von einem Elektromotor angetriebene Flügelradpumpe, die sogenannte Laugenpumpe.
Der Antrieb der *Schleudertrommel* erfolgt direkt durch einen Elektromotor mit etwa 2800 U/min. Die bei dieser Schleuderdrehzahl auftretende Zentrifugalkraft bewirkt ein Herausschleudern der der Wäsche anhaftenden Wasserteilchen (vgl. S. 28).
Moderne Waschmaschinen sind mit *Sicherheitseinrichtungen* ausgerüstet: Der Deckelschalter soll das Hineingreifen in die laufende Trommel verhindern; beim Öffnen des Maschinendeckels stellt ein Schalter sofort die Maschinen ab (der Schleudermotor wird zusätzlich durch eine Magnetbremse abgebremst).
Der Trockengehschutz verhindert ein Beheizen der Trommel, wenn der nötige Wasserstand nicht erreicht ist. Erst wenn der Druckwächter (niederes Niveau) angesprochen hat, wird die Heizung eingeschaltet. Die Wassermangelsicherung unterbricht bei einer Störung in der Wasserzufuhr den Programmablauf, und schließlich dient ein Abflußrechen zum Aussieben von Fremdkörpern, die die Laugenpumpe verstopfen oder beschädigen könnten.

CHEMISCHE REINIGUNG

In den weitaus meisten Fällen haftet Schmutz auf den Fasern der Textilien durch zweierlei Kräfte fest: erstens durch Verklebung mit einer Fettschicht oder einer eingetrockneten Schicht von in Wasser oder anderen Lösemitteln quellbaren Substanzen (z. B. Stärke, Eiweiß, leimartige andere Stoffe), zweitens durch direkte Adhäsion auf Grund des physikalisch-chemischen Charakters der Faser und der Verunreinigung (vgl. S. 516).

Bei der chemischen Reinigung aller Verschmutzungen nach der ersten Art wird zunächst das Klebemittel aufgelöst, die festen (und meist andersfarbigen, deswegen sichtbaren) Schmutzpartikel fallen dann von der Faser ab. Für sehr viele verklebende Stoffe wirken die bei der Reinigung verwendeten Lösemittel auflösend: Tetrachlorkohlenstoff, Trichloräthylen, Tetrachloräthylen, Petroläther, Benzin, Benzol u. a. Die zu reinigenden Stücke (Bekleidung, Pelze, Handschuhe, Teppiche, Decken usw.) werden in Trommeln von dem Lösemittel innig durchflutet; das unrein gewordene Lösemittel wird abgeschleudert und durch Destillation wieder gebrauchsfähig gemacht; das gereinigte Textilstück wird getrocknet, eventuell imprägniert und wieder geformt.

In einigen Fällen muß aber Wasser als weiteres Löse- oder Quellmittel für den Schmutzbinder herangezogen werden. Durch waschaktive Zusätze zum Wasser werden schließlich auch die Verunreinigungen der zweiten Art vom Gewebe desorbiert (verdrängt) und mit dem Waschwasser weggespült. Das Gewebe wird nach dieser Naßbehandlung meist mit sehr schwachen Säuren gesäuert (wodurch die Farben wieder aufgefrischt werden), gespült, geschleudert, getrocknet und gebügelt, eventuell zwischendurch auch wieder imprägniert (versteift, wasser- und schmutzabweisend gemacht) usw. Eine wirklich restlose Entfernung aller Art von Flecken ohne Schädigung der Faser und ihrer Färbung ist oft sehr schwierig und in manchen (seltenen) Fällen eine unlösbare Aufgabe.

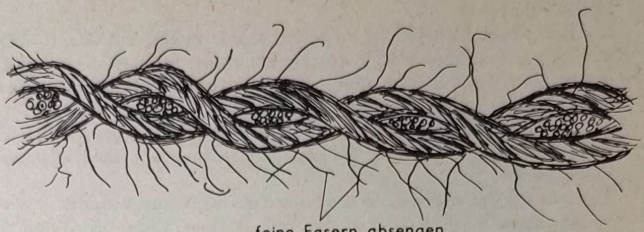

Grundbehandlung
chemische Lösemittel
Öl, Fett, Schweißrückstand o. ä.
Faser
feste Partikel (Staub u. ä.)
Trommel
schleudern und trocknen
Faser
Lösemittel löst das verklebende Bindemittel
Nachbehandlung
Ablösung noch haftender fester Partikel
unreine Lösemittel
Nachbehandlung
Wasser, Seife u. ä.
Trommel
Faser
Destillation (Reinigung der Lösemittel)
waschen
Trommel
schleudern
stark verdünnte Säure
Abwasser
Trommel
Trommel
Trommel
spülen, schleudern
Abwasser
Abwasser
spülen, schleudern
säuern (Auffrischen der Farbe)
imprägnieren, trocknen
Heizung
bügeln
Abholung

STÄRKEN UND APPRETIEREN

Die Hausfrau stärkt ein frisch gewaschenes Kleidungsstück, wenn es ein besseres Aussehen, Glanz oder Glätte und Formbeständigkeit erhalten soll, falls diese durch den Waschprozeß verlorengegangen sind. Dabei imprägniert sie vor dem Bügeln das Kleidungsstück mit einer wäßrigen Lösung geeigneter Pflanzenstärke oder ähnlicher gebrauchsfertiger Produkte. Der ähnliche, aber viel umfassendere Veredelungsprozeß frisch erzeugter Gewebe wird in der Textilindustrie Appretieren genannt. Dies ist eine Sammelbezeichnung für alle Bearbeitungsschritte, bei denen Textilien durch mechanische Behandlung und chemische Zusätze im Glanz, in der Formbeständigkeit oder Knitterfestigkeit, in Griff, Glätte und Fall veredelt werden, wobei sie außerdem je nach Gewebeart und Behandlungsverfahren krumpfecht, wasserabstoßend, geschmeidig, weich oder schwer gemacht werden. Die mechanische Appretur kann in einem einfachen Mangeln, Pressen, Walzen, Walken, Scheren, Kalandern, Rauhen oder/und Sengen bestehen. Meist wird zuvor und anschließend das Gewebe durch ein oder mehrere Flüssigkeits- bzw. Dampfbäder geleitet, wobei Textilhilfsmittel auf die Faser aufgebracht werden. Wäßrige Suspensionen oder Lösungen von Stärke und Stärkeabbauprodukten, Pflanzengummiarten, Leimlösungen, Gelatinen und Pflanzenschleime erhöhen nach dem Trocknen und Glätten die Formbeständigkeit. In neuerer Zeit werden diese mehr pflanzlichen Textilhilfsmittel durch wasserbeständigere Synthesestoffe ersetzt, wozu geeignete Lösungen oder Emulsionen von Kunstharzen und anderen Kunststoffen geeignet sind. Öle, Alkohole (z. B. Glycerin,) Fette oder Talg erhöhen die Geschmeidigkeit; Gips, Kaolin, Wachs und Bindemittel wie Eiweiße, Leime und geeignete synthetische Stoffe erhöhen Glanz und Schwere der Gewebe.

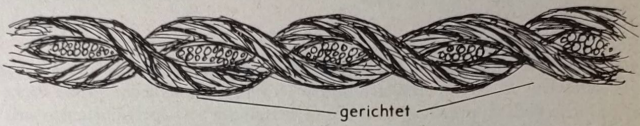
Mit dem Vermerk ® „Hochveredelt", „non iron", „rapid iron" (d. h. bügelfrei oder bügelarm) werden Gewebe versehen, die mit Kunstharzen und/oder Celluloseabkömmlingen chemisch imprägniert und meist in der Hitze mechanisch nachbehandelt wurden. Dabei werden besonders die Neigung zum Knittern und die Quellfähigkeit vermindert. Weißen Geweben werden oftmals optische Bleichmittel zugesetzt, damit sie weißer erscheinen, als sie es eigentlich sind. Zahlreiche pflanzliche oder organisch-chemische Textilhilfsmittel sind in feuchter, warmer Atmosphäre verderblich, daher werden antiseptisch wirkende Stoffe (Salicylsäure, Borsäure, Zinksalze, Formaldehydverbindungen u. a.) zugesetzt; solche Zusätze können darüber hinaus auch noch geruchvertilgend, schmutzabweisend oder z. B. antimykotisch (die Pilzbildung verhindernd) sein. Neben kompliziert verlaufenden Appretierverfahren gibt es auch sog. Einbadappreturen. Nicht selten macht die Appretur 10–20 Gewichtsprozent der fertigen Textilien aus und verschafft dem Gewebe erst die erforderlichen Gebrauchseigenschaften. – Vgl. S. 508 ff.

rohes Gewebe



sengen, glätten

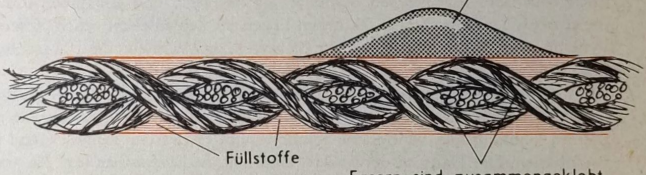
feine Fasern absengen



gerichtet

Glanz erhöhen

Wassertropfen

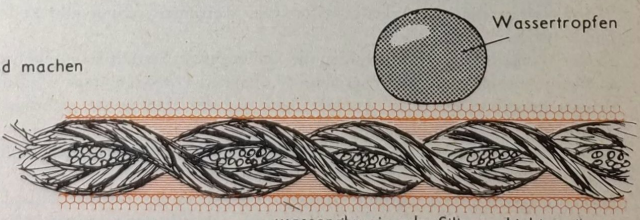


Füllstoffe

Fasern sind zusammengeklebt

wasserabweisend machen

Wassertropfen



wasserabweisende Siliconschicht o.ä.

∞ = Siliconmoleküle

SETZEREI I (HANDSATZ)

Die Buchstaben

Die Buchstaben (Lettern, Typen) bestehen zu etwa 70% aus Blei, zu 25% aus Antimon und zu 5% aus Zinn. Jeder Buchstabe hat an der Vorderseite eine Einkerbung, die Signatur (Abb. 1b). Sie dient einmal zur Unterscheidung der einzelnen Schriften, zum anderen als Kontrolle für den Setzer beim Setzen.

Der Setzer rechnet nicht nach Zentimetern. Er hat sein eigenes typographisches Maß. Bei dieser international gültigen Maßeinteilung entsprechen 2660 typographische Punkte einem Meter.

Die Schriften (sie tragen meist den Namen des Schriftkünstlers, der sie entwarf) gibt es in verschiedenen Größen (Nonpareille, Petit, Korpus, Cicero usw.) und Stärken (mager, gewöhnlich, halbfett, fett usw.). Man spricht dann von „Schriftfamilien". Die nichtdruckenden Teile eines Satzes nennt man Blind- oder Füllmaterial. So gibt es als Wortzwischenraum den Ausschluß, zum Füllen auslaufender Zeilen die Quadrate, zur Erweiterung des Zeilenabstandes die Regletten und zur Bildung großer nichtdruckender Flächen die Stege.

Das Setzen

Der Setzer arbeitet vor einem schrägen Regal (Abb. 2), auf das der Setzkasten „aufgeschoben" ist. Der Setzkasten enthält etwa 130 verschieden große Fächer, in denen die Buchstaben untergebracht sind. Im Oberteil des Setzkastens befinden sich die Großbuchstaben (Versalien), die — mit einer Ausnahme (J) — in alphabetischer Reihenfolge geordnet sind. Die Kleinbuchstaben (Gemeinen) liegen im unteren Teil des Schriftkastens. Sie sind so eingelegt, daß die am meisten gebrauchten Typen (e, n) der Hand am nächsten liegen. Diese Buchstaben haben ein besonders großes Fach und am linken Rand des Kastens meist noch ein Reservefach. Daneben liegen im Schriftkasten noch Ziffern, Satzzeichen, Umlaute, Akzente und verschiedene Stärken Wortzwischenraum (Ausschluß). Ein großer Schriftkasten enthält etwa 30 kg, ein kleiner etwa 12–15 kg Schrift.

Zum Setzen hat der Setzer eine Satzvorlage, das Manuskript. Er hält in der linken Hand seinen Winkelhaken (Abb. 3), den er auf die gewünschte Zeilenbreite eingestellt hat. Auf die im Winkelhaken befindliche Setzlinie reiht er mit der rechten Hand Buchstaben an Buchstaben. Der Daumen der linken Hand hält die Buchstaben fest. Er gleitet dabei über die Signatur und prüft, ob der Buchstabe richtig steht.

Zwischen jedes Wort wird ein Zwischenraum gesetzt. Ist die Zeile gefüllt, wird dieser Wortzwischenraum entweder erweitert oder verringert, damit alle Zeilen die gleiche Breite haben (Ausschließen).

Ist der Winkelhaken gefüllt, werden die Zeilen auf ein Setzschiff ausgehoben. Nach mehrmaligem Ausheben entsteht eine Seite (Kolumne). Diese Kolumne wird mit einer festen Schnur ausgebunden (Abb. 4). Der dann auf der Handpresse gefertigte Abzug wird korrigiert.

Bei dem nun folgenden Druck wird der Satz in einem rechtwinkligen Schließrahmen mit Schließzeugen fest eingespannt (Formenschließen; Abb. 5).

Nach erfolgtem Druck wird die Druckform aufgelöst und Buchstaben und Blindmaterial zur Wiederverwendung in die entsprechenden Schriftkästen abgelegt (Abb. 6).

Heute werden in der Setzerei nur noch wenige Arbeiten im Handsatz hergestellt. Dabei handelt es sich vorwiegend um sog. Akzidenzen (Briefbogen, Familiendrucksachen usw.) oder schwierigen wissenschaftlichen Satz (Formeln, Tabellen). Zum Satz anderer Drucksachen (Bücher, Zeitungen, Zeitschriften) bedient man sich fast ausschließlich des Maschinensatzes (s. S. 528).

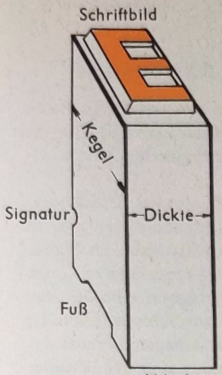


Abb. 1a

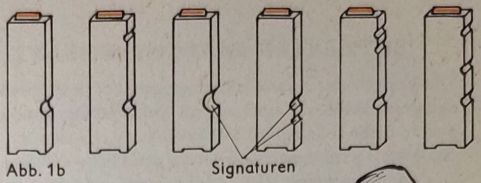


Abb. 1b

Signaturen

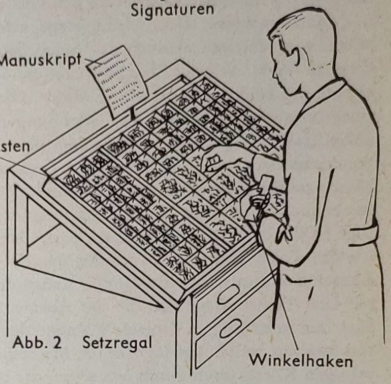


Abb. 2 Setzregal

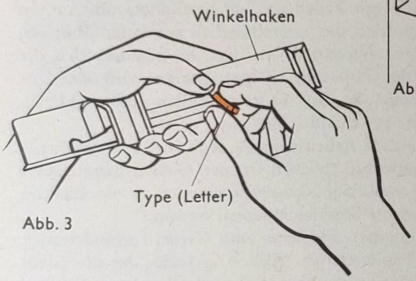


Abb. 3

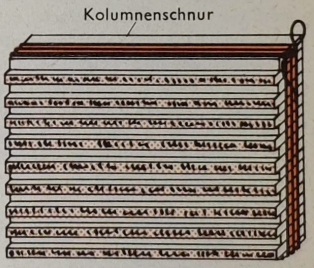


Abb. 4 Ausgebundener Satz

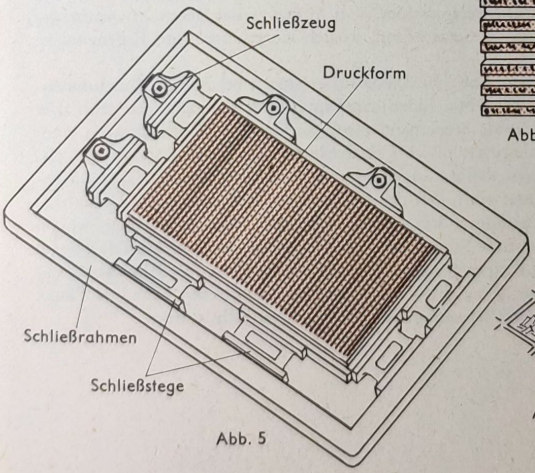


Abb. 5

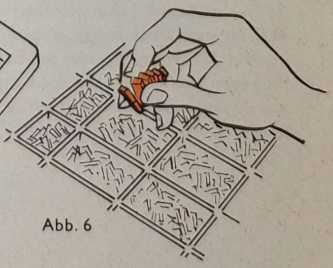


Abb. 6

SETZEREI II (MASCHINENSATZ, SETZMASCHINEN)

Die Vorteile der Setzmaschinen gegenüber dem Handsatz ergeben sich aus der größeren Setzgeschwindigkeit und aus der Verwendung ständig neugegossener klarer Schrift, die zudem nicht abgelegt zu werden braucht, da sie nach dem Druck eingeschmolzen wird; das Metall wird danach wiederum den Gießmaschinen zugeführt.

In *Zeilensetzmaschinen* (Beispiel: Linotype) erfolgt sowohl das Setzen, also das Aneinanderreihen von Matrizen, als auch das Ausgießen und damit die Fertigstellung der Zeile im gleichen Gerät. Vor der Maschine sitzt der Setzer und bedient nach Maßgabe des Manuskripts mit beiden Händen die Tastatur. Die Buchstabenanordnung entspricht etwa der einer Normalschreibmaschine. Jeder Fingerdruck löst aus dem Magazin eine Matrize (Abb. 3) aus. Sie gleitet durch Führungsbleche über ein Förderband zum Sammler (Abb. 1). Sondermatrizen, die rechts neben der Tastatur in Handmatrizenkästen liegen, können der Matrizenreihe in beliebiger Anzahl hinzugefügt werden. Wortzwischenräume sind Keile, die beim Ausschließen der Zeile auseinandergetrieben werden. Das geschieht im Gießtopf (Abb. 2), in den die aneinandergereihten Matrizen durch Hebeldruck transportiert werden. Nach dem Ausguß werden die fertigen Zeilen am Fuß beschnitten und auf ein Setzschiff ausgestoßen. Ein Greifer transportiert die unterschiedlich gezahnten Matrizen auf eine Transportspindel, die das Ablegen automatisch besorgt. So befinden sich die Matrizen in ständigem Umlauf. Während des Gieß- und Ablegevorganges wird ohne Unterbrechung weiter gesetzt. Da die Maschine den Satz in festen Zeilen gießt (Abb. 4), erfolgen Korrekturen durch Neusetzen der betreffenden Zeilen.

Das *Lino-Quick-System* beruht auf dem gleichen Arbeitsprinzip, doch wird beim Satzvorgang ein Papierstreifen gelocht, der entweder am gleichen Ort den Gießvorgang steuert oder auch nach dem Fernschreiberprinzip von einer Nachrichtenagentur an verschiedene Zeitungen gesendet werden kann, um dort die Setzmaschinen zu steuern.

In der *Einzelbuchstaben-Setzmaschine* (Monotype) sind Satz- und Gießteil grundsätzlich getrennt. Im Setzteil (Abb. 5) wird ein Papierstreifen (Abb. 6) gelocht, der die Gießmaschine (Abb. 7) steuert. Der Guß erfolgt zeilenweise in Einzelbuchstaben (Abb. 8). Der Vorteil gegenüber der Zeilensetzmaschine liegt in der vielseitigeren Anwendungsmöglichkeit bei anspruchsvolleren Setzarbeiten, da sich Korrekturen und Ergänzungen leichter bewerkstelligen lassen.

Bei einer *Lichtsetzmaschine* (Monophoto) wird zunächst genau wie bei der Einzelbuchstaben-Setzmaschine (in fast den gleichen Maschinen) ein Papierstreifen gelocht, der dann aber der Filmsetzmaschine (Abb. 9) als Steuerband dient. Er steuert die Bewegungen eines Negativrahmens, der ein Filmnegativ mit 255 Buchstaben- bzw. Zeichenbildern enthält. Das Negativ wird so verschoben, daß im Augenblick der Verschlußöffnung das gewünschte Buchstabenbild durchleuchtet wird. Der das Buchstabenbild übertragende Lichtstrahl fällt auf zwei Prismenspiegel und durchdringt darauf eine optische Linse, um über zwei im rechten Winkel zueinander stehende Spiegel auf den Film projiziert zu werden. Die Spiegel bewegen sich jeweils um die entsprechende Buchstabenbreite. Durch Positionsänderung der Spiegel und Prismen kann jeder gewünschte Schriftgrad zwischen 6 und 24 Punkt (1 Punkt im typographischen Maßsystem gleich 0,376 mm) erreicht werden.

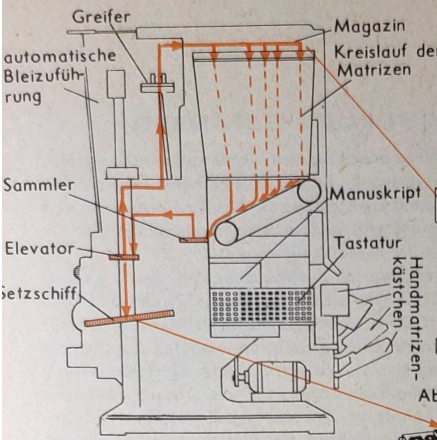


Abb. 1 Zeilenguß-Setzmaschine

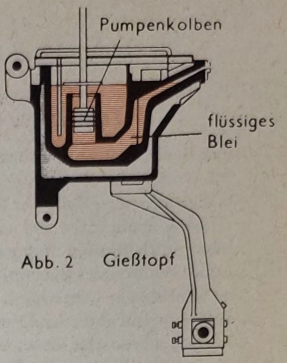


Abb. 2 Gießtopf

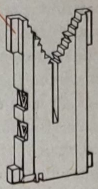


Abb. 3 Matrize

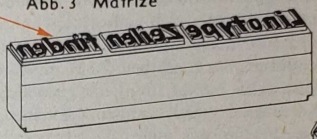


Abb. 4

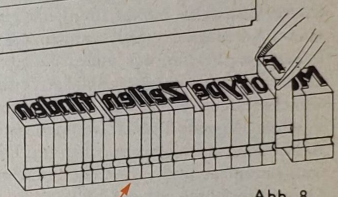


Abb. 8

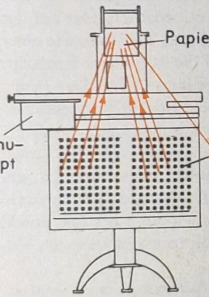


Abb. 5 Einzelbuchstaben-Setzmaschine

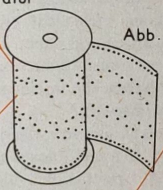


Abb. 6

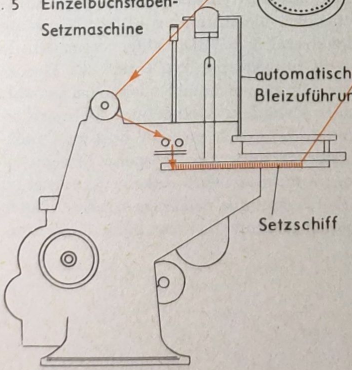


Abb. 7 Einzelbuchstaben-Gießmaschine

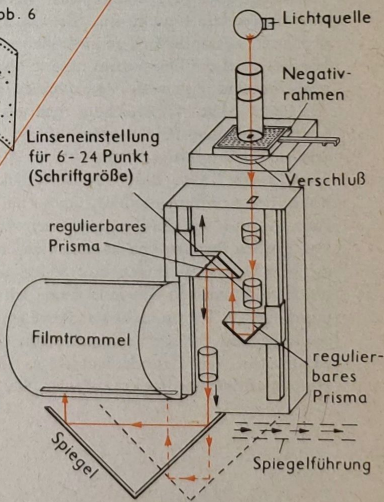


Abb. 9 Schema der Filmsetzmaschine (Monophoto)

BUCHDRUCK (HOCHDRUCKVERFAHREN)

Der Buchdruck ist das älteste der noch heute angewendeten Druckverfahren. Er gehört zur Gruppe der Hochdruckverfahren, bei denen die Druckelemente höher liegen als die nichtdruckenden Teile der Druckform. Somit erhalten nur die Druckelemente vor dem Druckvorgang Farbe und nur sie kommen während des Druckvorganges mit dem Druckträger in Berührung und geben einen Teil der Farbe an diesen ab.

In der Frühzeit des Buchdruckes druckte man nur mit Preßstempeln. Auf einer horizontal verschiebbaren Unterlage lag die eingefärbte Druckform, das Papier wurde als Bogen aufgelegt und unter den Druckstempel geschoben. Mit einem langen Hebelarm, dem Preßbengel, wurde eine daran befestigte Schraubspindel gedreht und dadurch der Stempel fest auf das Papier gepreßt. Durch den starken, auf die ganze Fläche wirkenden Druck wurde eine gut ausdruckende Form gewährleistet (Abb. 1). Diese Art des Druckens finden wir auch heute noch beim Holzschnittdruck, der vorwiegend von Künstlern gepflegt wird, und in abgewandelter Form im gewerblichen Tiegeldruck (Abb. 2). Während beim Handdruck das Einfärben der Form durch eine mehrfach über die Druckform geführte Farbwalze erfolgt, muß die gründliche Einfärbung im maschinellen Druck in einem Arbeitsgang erzielt werden. Zur feinen, gleichmäßigen Verteilung der Farbe sind daher komplizierte, aus vielen Walzen bestehende Farbwerke erforderlich. Das bei den modernen Schnellpressen übliche Verfahren verwendet an Stelle des Preßstempels einen Druckzylinder, der in der Maschine fest gelagert ist, während die auf einem fahrbaren Schlitten liegende Druckform unter dem Druckzylinder durchgefahren wird. Das Papier wird dabei in Bogenform über den Druckzylinder geführt, hier von Greifern gehalten, mitgenommen und zwischen Druckform und Druckzylinder durchgezogen (Abb. 3). Dieses Verfahren erlaubt höhere Druckgeschwindigkeiten und größere Druckformen, verwendet aber größtenteils noch die aus vielen Einzelbuchstaben oder Bildteilen zusammengesetzte Druckform. Als schnellstes und daher im Zeitungs- und Zeitschriftendruck fast ausschließlich gebräuchliches Druckverfahren kennen wir den Rotationsdruck. Hierbei wird die Druckform mittels Matern, die in einem Gießinstrument gebogen eingespannt sind, zu einem Formzylinder gegossen.

Als Mater (Abb. 4) bezeichnet man eine Gießform, die durch Aufpressen einer starken, feuchtgehaltenen Papierplatte auf die Originaldruckform entsteht. Diese Papierform erlaubt bei sorgfältiger Arbeit bis zu 20 Abgüsse. Als Gießmaterial wird eine Mischung von 75–82 Teilen Blei, 15–20 Teilen Antimon und 3–5 Teilen Zinn verwendet. Je höher der Antimonanteil ist, um so härter ist die Druckform. Jetzt rotiert die Druckform genauso wie der Druckzylinder; das Papier wird nun nicht mehr als Bogen, sondern von großen Papierrollen laufend zwischen beiden Zylindern durchgeführt und nach erfolgtem Druck zu Bogen und Seiten zerschnitten. So erzielt man die höchste Druckgeschwindigkeit. In den modernen Zeitschriftendruckereien gibt es wahre Maschinenungeheuer, z. T. von mehr als 20 m Länge, die, mit mehreren Farbwerken ausgerüstet, in der Lage sind, farbige Zeitschriften in einem Durchgang mit parallelen Arbeitsabläufen zu drucken. Im Grunde handelt es sich hierbei nur um mehrere hintereinandergekoppelte Rotationsdruckmaschinen (Abb. 5).

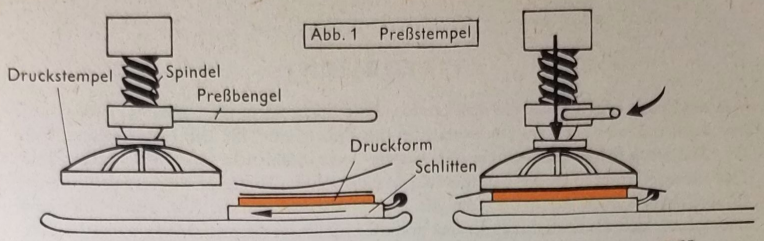


Abb. 1 Preßstempel

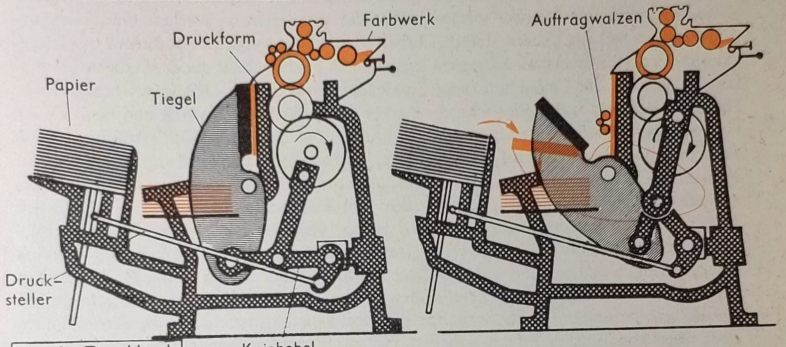


Abb. 2 Tiegeldruck

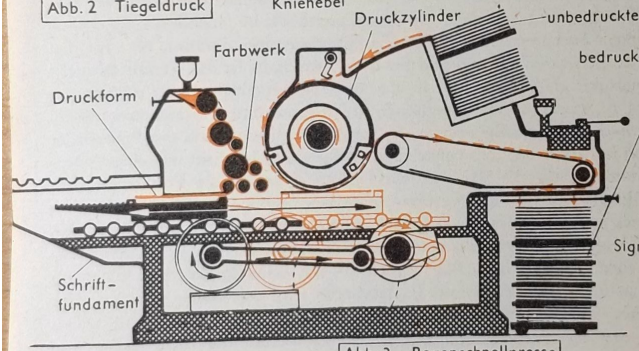


Abb. 3 Bogenschnellpresse

Abb. 4

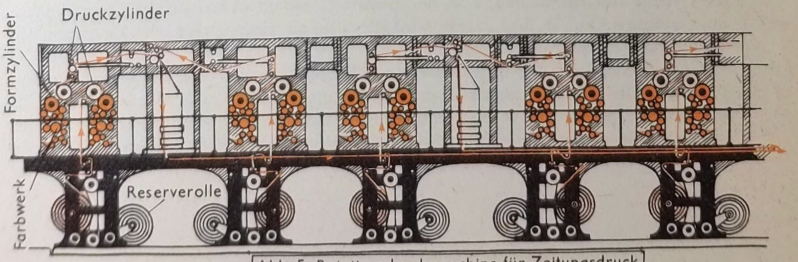


Abb. 5 Rotationsdruckmaschine für Zeitungsdruck

TIEFDRUCK

Während beim Hochdruck die druckenden Teile hochstehen, liegen beim Tiefdruck die druckenden Linien oder Punkte vertieft in der Druckplatte, die Leerräume stehen hoch. Der Tiefdruck folgt dem Prinzip der Kupfer- oder Stahlstiche oder der Radierungen. Das älteste Verfahren ist der Kupferstich: In eine polierte Kupferplatte werden mit feinen Grabsticheln Linien gestochen, die die Druckfarbe aufnehmen. Aus dem Kupferstich entwickelte sich die Radierung: In eine polierte, mit einem Ätzgrund überzogene Kupferplatte wird mit einer feinen spitzen Stahlnadel mit leichten Strichen die Zeichnung eingeritzt, so daß das blanke Metall sichtbar wird. Dann werden diese Linien mit Eisenchlorid oder Schwefelsäure tief geätzt. Ein anderes Verfahren ist die Kaltnadelradierung: Hierbei werden die Linien mit einer Stahlnadel direkt in die Druckplatte eingerissen. Dabei entsteht ein mehr oder weniger starker Grat, der Farbe festhält und beim Druck eine gewisse Weichheit der Linien bewirkt (Abb. 1a u. 1b). Die Druckfarben werden mit Färbeballen in die vertieften Linien gerieben, der Farbüberschuß wird abgenommen. Nur in den Linien bleibt die Farbe zurück. Das zum Drucken verwendete Papier ist besonders saugfähig und stark, es wird zudem vor dem Druck noch angefeuchtet, denn es muß sich in die Vertiefungen der Platte einpressen lassen; über das Papier werden weiche Filztücher gelegt. Die unter starkem Druck stehende Druckwalze arbeitet ungefähr wie eine Wäschemangel und preßt das Papier auch in die feinsten Linien (Abb. 2). Diese alten Techniken werden noch heute von Malern und Graphikern gepflegt. Der gewerbliche Druck bedient sich moderner Schnellpressen und Rotationsmaschinen, die aber alle nach dem oben angeführten Prinzip arbeiten. Bei der Druckformherstellung wird fast ausschließlich die Photographie angewandt. Man kann, genau wie im Hochdruck, eigentlich alles, von der feinen Strichzeichnung bis zur Farbphotographie, drucken. Nur für den Druck von großen gedeckten Flächen und für den Holzschnitt ist das Verfahren nicht geeignet. Vorlagen mit Halbtönen, wie sie u. a. die Photographie enthält, müssen gerastert werden, d. h., man muß die Grauflächen in feingepunktete Flächen umwandeln. Dazu verwendet man eine Kristallglasplatte, die mit einem dichten Netz sich kreuzender Linien überzogen ist. Jedes dadurch entstehende kleine Glasfeld wirkt wie eine Photolinse, ihre Vielzahl zerlegt das Ton- in ein Punktbild, wobei die Punkte je nach Tonwert des Originals und nach dem verwendeten Raster flacher oder tiefer werden.

Für den Tiefdruck ist eine Vielzahl von Druckmaschinen entwickelt worden, wie z. B. die in Abb. 4 gezeigte Bogendruckmaschine. Im Prinzip gleichen sie den Buchdruckmaschinen, nur wird hier auch beim Bogendruck mit der Schnellpresse die Druckform über einen Formzylinder gebogen. Dieser Formzylinder wird von einem Farbwerk dick mit weicher, zäher Farbe eingefärbt, die alle Rasternäpfchen und Linien ausfüllt. Der Farbüberschuß wird von einem sorgfältig geschliffenen Metallineal, dem Rakel, von dem vorbeilaufenden Formzylinder abgestreift. Es kommen die verschiedensten Einfärbsysteme zur Anwendung, z. B. die Einfärbung bei direktem Lauf des Formzylinders im Farbtrog (Abb. 5). Das Papier wird dabei durch einen Druckzylinder gegen den einfärbenden Formzylinder gepreßt.

Die Abb. 6 zeigt das Arbeitsprinzip einer Rollenrotationsmaschine mit anschließendem Falzwerk. Der Drucker bezeichnet den Druckgang auf der zuerst bedruckten Seite als Schöndruck, den Druck auf der Gegenseite als Widerdruck. Wie im Buchdruck werden auch Maschinen mit mehreren Farbwerken verwandt, auch gibt es Kombinationstypen von Buch- und Tiefdruckmaschinen.

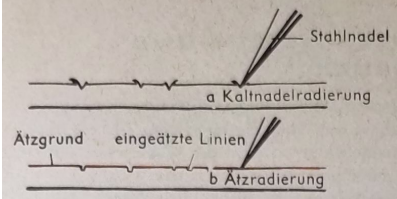


Abb. 1 Radierung

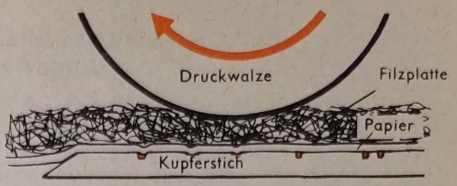
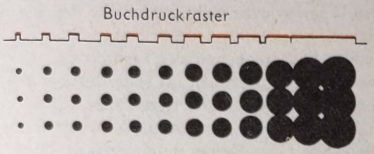


Abb. 2 Druckvorgang



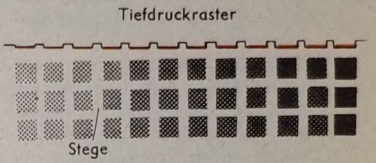


Abb. 3 Raster

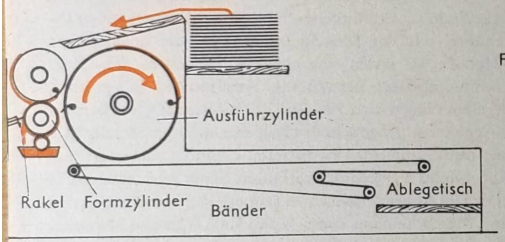


Abb. 4 Bogendruckmaschine

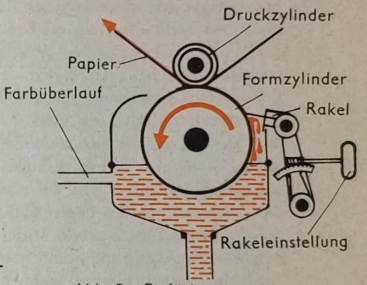


Abb. 5 Einfärbsystem

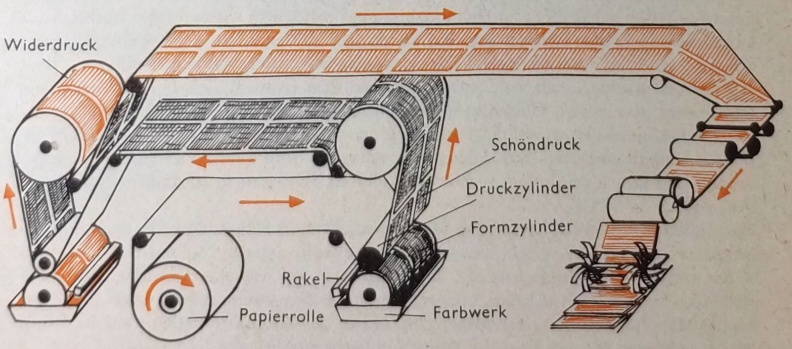


Abb. 6 Rollenrotationsmaschine

FLACHDRUCKVERFAHREN I (STEIN- UND OFFSETDRUCK)

Die Flachdruckverfahren beruhen auf der Tatsache, daß sich Fett und Wasser abstoßen. Wenn man eine geebnete Stein- oder Metallplatte mit einer Fettfarbe oder Fettkreide bezeichnet und anschließend die ganze Fläche anfeuchtet, so wird das Wasser von den bezeichneten Stellen abgestoßen, während die unbezeichneten Flächen das Wasser festhalten und feucht bleiben. Dieser Effekt ist besonders stark, wenn man Material wie Solnhofener Schiefer verwendet, der sehr gut Feuchtigkeit an seiner Oberfläche hält, oder wenn man die Metallplatte aufrauht (körnt). Überwalzt man die Fläche mit einer fettigen Farbe, so stoßen die wäßrigen Flächen diese ab, die Zeichnung jedoch nimmt die Farbe an. Die druckenden Stellen liegen in der gleichen Ebene wie die nichtdruckenden. Unterschiede ergeben sich nur an wasserannehmenden und wasserabstoßenden Teilen. Zu den Flachdruckverfahren gehören der Steindruck, der Offsetdruck und der Lichtdruck (s. S. 536). Abb. 1 zeigt das *Steindruckverfahren*. Das Einfärben geschieht im Handdruck mit einer Lederwalze (Abb. 1a). Zum Druck wird über das Druckpapier feste Pappe (Preßspan) gelegt, die mit Talg eingestrichen wird. Von oben wird unter starkem Druck der Reiber auf den Preßspan gesetzt und dann der Stein unter dem Reiber durchgezogen. Der Steindruck wird auch heute noch von Künstlern gepflegt (Lithographie), denn er gestattet es, die Unmittelbarkeit des künstlerischen Striches drucktechnisch ohne große Schwierigkeiten wiederzugeben. Um die Zeichnung fester an den Stein zu binden, werden die freien Stellen auf chemischem Wege schwach geätzt. Nach Vollendung der Druckauflage läßt sich der bis zu 8 cm starke Stein aus Solnhofener Schiefer mit Schleifsteinen abschleifen und neu verwenden. Ähnlich wie der feinschichtige gelbgraue Solnhofener Schiefer reagieren auch manche Metalle; sie lassen sich genauso verwenden wie Stein (besonders werden Zink- und Aluminiumplatten verwendet). Metallplatten haben noch den Vorteil, daß sie sich zum Zylinder biegen und für den Rotationsdruck verwenden lassen. Meist druckt man auf diese Weise von einer seitenrichtig behandelten Metallplatte ein spiegelverkehrtes Bild auf einen mit Gummituch bespannten Zylinder, der nun erst die Zeichnung an das Papier abgibt. Dieses Widerdruckverfahren bietet gegenüber dem unmittelbaren Druck große Vorteile, z. B. gutes Anpassen an rauhere Papiere usw., so daß es heute sehr häufig angewandt wird. Man bezeichnet diese Technik als *Offsetdruckverfahren* (Abb. 2). Natürlich wird auch hier Photographie und Rastertechnik in den Dienst des Verfahrens gestellt. Durch Aufbringen quellfähiger Kolloidschichten, deren Quellfähigkeit durch Belichten (Einlagerung von Bichromat oder Farbstoffen) beeinflußt wird, werden heute die Druckvorlagen auf dem Druckträger verankert. So wird die Übertragung gesetzter Seiten sowie die jeder Halbtonabbildung ermöglicht; heute ist der Bücherdruck längst nicht mehr eine Domäne des Hochdrucks (s. S. 530), sondern viele Bücher und Zeitschriften (wie auch das vorliegende Buch) werden im Offsetdruck hergestellt.

Die Offsetdruckmaschinen bestehen aus dem Farbwerk (Abb. 3), dem Formzylinder, dem Feuchtwerk sowie dem Gummituch- und dem Druckzylinder. Die geforderte Druckqualität bestimmt die Anzahl der Farb-, Reib- und Auftragswalzen. Bei der in Abb. 5 gezeigten Vierfarben-Rotationsmaschine sind um zwei Formzylinder vier Farbwerke angeordnet. Der Druck erfolgt am rechten Zylinder als Schöndruck, am linken Zylinder als Widerdruck (s. S. 532).

Ein modernes Verfahren ist der *Bimetalloffsetdruck*. Während Zink- und Aluminiumplatten entweder fett- oder wasserabstoßend präpariert werden müssen, *sind* andere Metalle entweder wasser- oder fettbindend. So kann man z. B. auf wasseranziehendes und fettabstoßendes Grundmetall (Chrom, Nickel) galvanisch eine zweite farbführende (fettanziehende) Metallschicht (Kupfer) aufbringen und an den bildfreien Stellen nach der Kopie wieder wegätzen (danach liegt das Druckbild leicht erhöht).

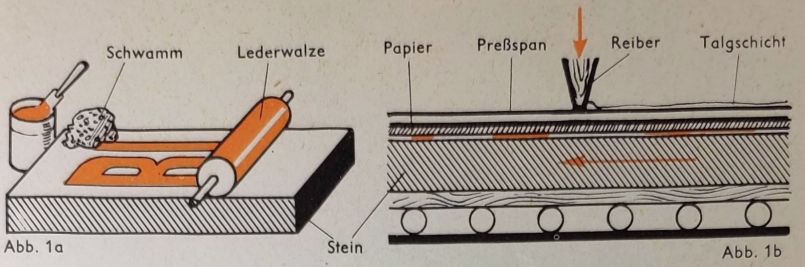


Abb. 1a

Abb. 1b

Abb. 1 Steindruckverfahren

Abb. 2 Prinzip des Offsetdrucks

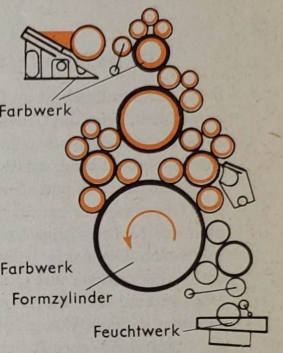


Abb. 3

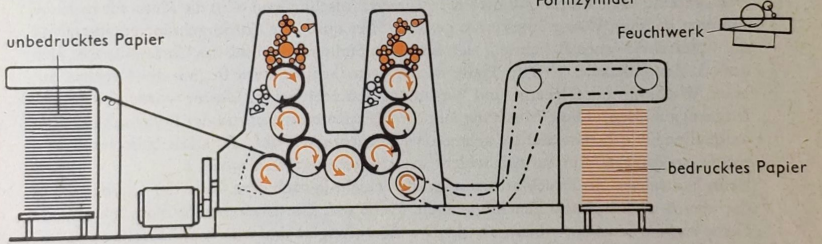


Abb. 4 Zweifarben-Bogendruckpresse

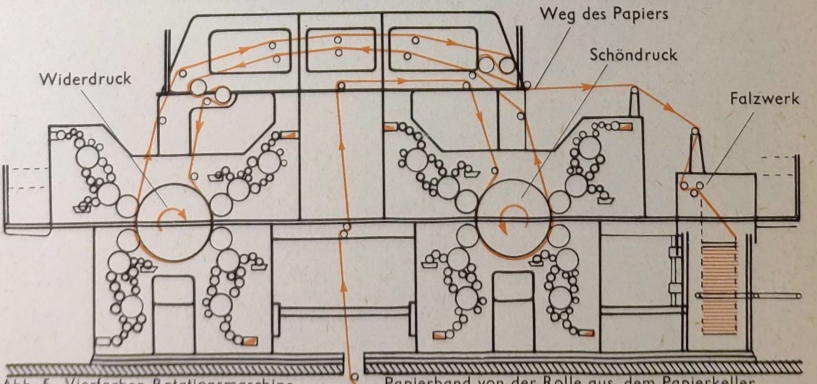


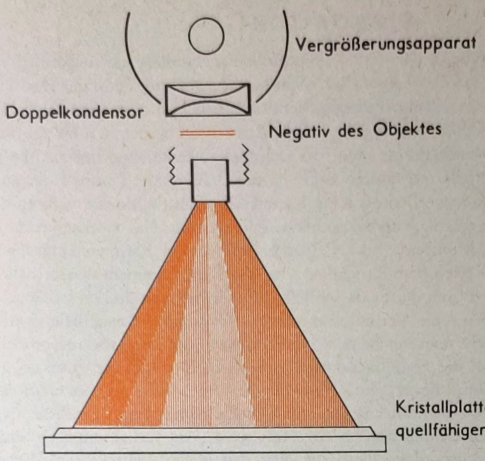
Abb. 5 Vierfarben-Rotationsmaschine

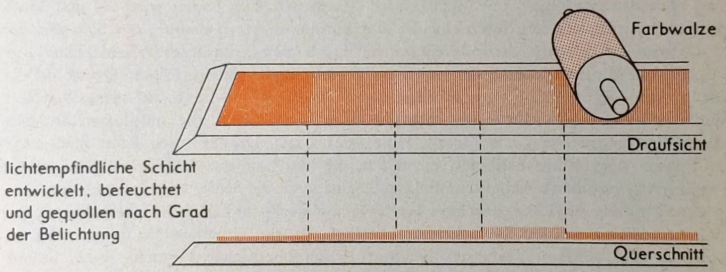
Papierband von der Rolle aus dem Papierkeller

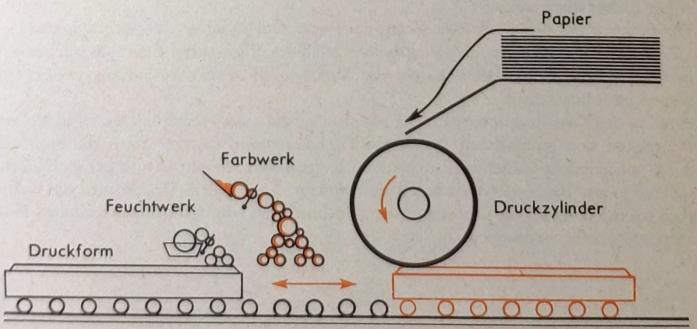
FLACHDRUCKVERFAHREN II (LICHTDRUCK)

Der Lichtdruck gehört zu den Flachdruckverfahren. Man kann ihn auch als Photodruck bezeichnen, denn die Druckgrundlage gleicht einer normalen Photoplatte. Sie besteht aus einer Kristallglasplatte, die mit einer 6–8 mm starken Schicht bedeckt ist; diese ist aus einer Gelatinelösung und Kaliumbichromat zusammengesetzt. Sie wird gleichmäßig dick auf die Platte gebracht und in einem Ofen bei etwa 50 °C langsam getrocknet. Dabei schrumpft ihre Oberfläche, es entsteht eine gleichmäßige Körnung, das sogenannte Runzelkorn, das man mit bloßem Auge kaum wahrnehmen kann. Die Platte wird wie eine Photoplatte mit einem Diapositiv belichtet. Die Schicht büßt je nach Stärke der Lichteinwirkung mehr oder weniger ihre Quellfähigkeit für Wasser ein. Die Halbtonnegative werden ohne Verwendung eines Rasters auf die Platte kopiert. Anschließend wird die Platte für mehrere Stunden in einen Wässerungskasten gestellt. Hier quillt die Chromgelatine entsprechend der unterschiedlichen Belichtung der einzelnen Stellen, aufs und das Chromsalz löst sich heraus. Anschließend wird die Platte wieder getrocknet und vor Beginn des Druckes mit einer Mischung aus Glycerin und Wasser angefeuchtet (reines Wasser würde die Schicht langsam auflösen). Diese Mischung läßt die Gelatine entsprechend der Belichtung wieder aufquellen. Die hellen Stellen nehmen viel Feuchtigkeit auf, die stark belichteten sehr wenig, so daß das Bild auf der Schicht wie ein leichtes Relief wirkt.

Beim Einwalzen mit Druckfarbe nimmt die Schicht je nach dem Grad der Quellung und der damit verbundenen Feuchtigkeit die Farbe auf. Die trockenen Stellen nehmen die Farbe an, die feuchten weisen sie ab. Die Abstufungen sind wie das Runzelkorn derart fein, daß die größte Originaltreue erreicht wird. Dadurch eignet sich der Lichtdruck in ganz hervorragender Weise zur Wiedergabe von anspruchsvollen Kunstwerken.



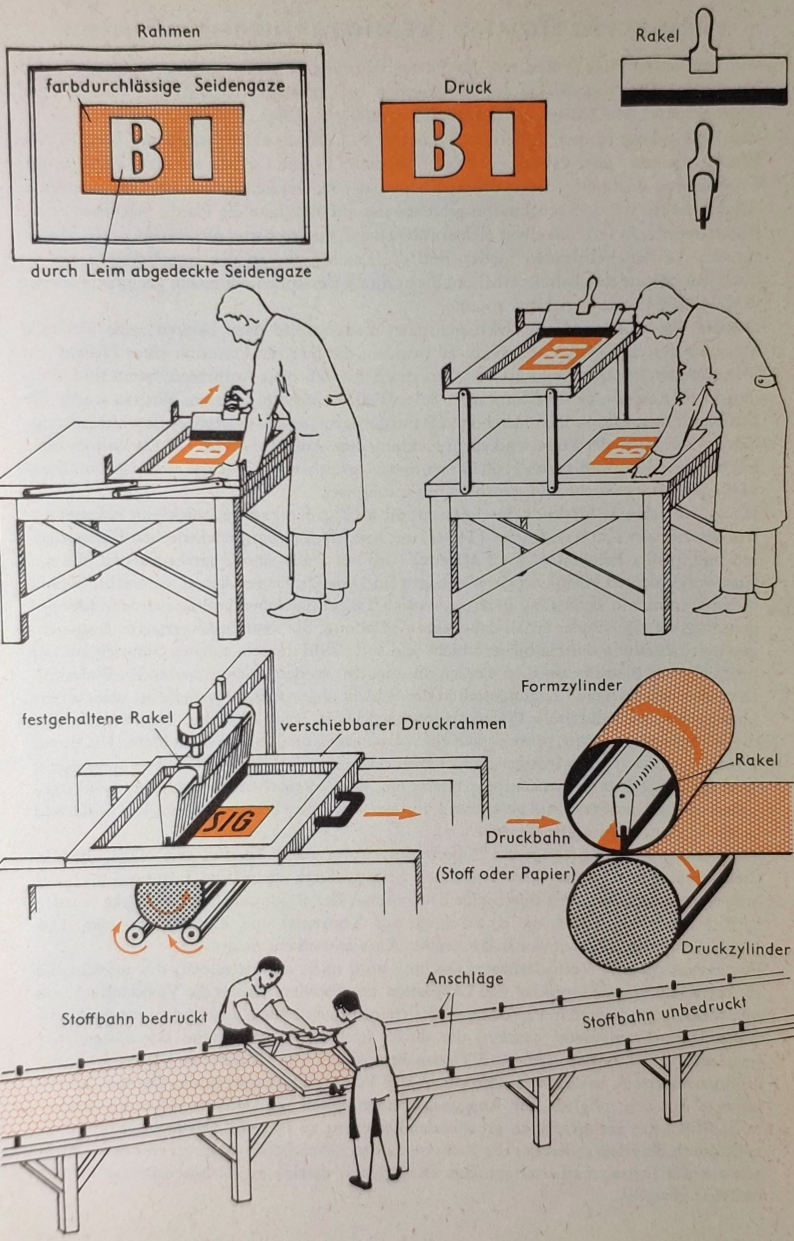




Prinzip des Bogenflachdruckes

SIEBDRUCK

Der Siebdruck ist ein Verfahren, das noch größtenteils im Handbetrieb ausgeführt wird. Die Bezeichnung „Druck" ist dabei eigentlich nicht ganz zutreffend, denn der Druck, der erzeugt werden muß, ist sehr gering. Für den Siebdruck benötigt man einen Holz- oder Metallrahmen, der mit Seidengaze bespannt wird. Am besten eignet sich hierzu Naturseide mit gleichmäßigen Maschenöffnungen, die sich nicht verschieben lassen. Maßgeblich für die Maschenfeinheit der gewählten Seide ist die Größe bzw. Feinheit der auszuführenden Arbeit (neuerdings werden oft feine Kunststoff- oder Stahlnetze verwendet).
Die Druckform kann auf verschiedene Weise hergestellt werden. Das zu druckende Bild wird mit fettiger Farbe, Lithokreide oder Fettusche auf die im Rahmen eingespannte Seide seitenrichtig gemalt. Nach dem Trocknen wird das Bild mit einem wasserlöslichen Leim überstrichen, der die Poren der Seide schließt. Die fetthaltigen Stellen stoßen dabei den Leim ab und verhindern seine Verbindung mit der Seidengaze. Anschließend an das Trocknen des Leimes wäscht man mit Benzin oder Terpentin die Fettfarbe aus, so daß an den vorpräparierten Stellen die Seide farbdurchlässig wird. Der Rahmen muß so groß gewählt werden, daß am Rand noch genug Platz für die Druckfarbe und auch für einen Rakel bleibt. Der Rakel besteht meist aus einem Griff mit einem breiten Querholz, in das ein fester, plangeschliffener Gummistreifen eingelassen ist. Als Druckunterlage eignet sich jeder Tisch, der eine gute, glatte Platte hat. Für den gewerblichen Druck benutzt man Spezialanfertigungen mit Metall- oder Glasplatten. Das Papier wird auf den Tisch gelegt, unter Umständen durch eine Vakuumeinrichtung festgehalten, das Sieb mit der Druckform wird aufgebracht und an der einen Seite des Siebes die Druckfarbe in dicker Lage aufgegeben. Mit dem Rakel zieht man nun die Farbe unter gleichmäßigem Druck auf die andere Seite des Siebes und drückt dabei einen gewissen Teil durch die offengehaltenen Stellen auf das Papier. Es lassen sich auf diese Weise auch alle möglichen anderen Materialien bedrucken (z. B. Metall, Holz oder Glas). Druckformen kann man auch als Papier- oder Filmschablonen herstellen, die man auf die Seide klebt. Bei einem Verfahren bringt man eine lichtempfindliche Schicht auf die Seide; sie wird nach dem Antrocknen mittels eines angedrückten Negativs abgedeckt und dann belichtet. Durch die Lichteinwirkung werden die belichteten Stellen fest, die unbelichteten lassen sich auswaschen. Ein anderes Verfahren benötigt lichtempfindliches Pigmentpapier, dessen Schicht nach der Belichtung und Präparierung auf die Druckform übertragen wird. Dieses Verfahren erlaubt ein außerordentlich feines Arbeiten, z. B. lassen sich auf diese Weise sogar Raster übertragen.
Die Feinheit der Netze, die Konsistenz der Farbe dem jeweiligen Verwendungszweck entsprechend zu wählen, ist die Aufgabe des erfahrenen Druckers. Das Siebdruckverfahren ist besonders wirtschaftlich bei kleineren Auflagen, die eine Verwendung großer Maschinen nicht rechtfertigen.
Auch in der Textilindustrie wird der Siebdruck oder auch Filmdruck angewandt. Für das Bedrucken von Stoffbahnen sind lange Tische erforderlich, auf denen die Stoffbahnen durch einen leicht löslichen Trockenleim festgehalten werden. Am Tischrand sind Anschläge in der Breite der Druckvorlage befestigt. Nach jedem Druck wird die Form bis zum nächsten Anschlag weitergedrückt. So lassen sich die Bahnen mit genauen Passern auch mehrfarbig bedrucken.


Rahmen
farbdurchlässige Seidengaze
B I
durch Leim abgedeckte Seidengaze
Druck
B I
Rakel
B I
B I
festgehaltene Rakel
verschiebbarer Druckrahmen
SIG
Formzylinder
Rakel
Druckbahn
(Stoff oder Papier)
Druckzylinder
Anschläge
Stoffbahn bedruckt
Stoffbahn unbedruckt

VERVIELFÄLTIGUNG (XEROGRAPHISCHE METHODE)

Von den zahlreichen Verfahren der Vervielfältigungstechnik sind heute besonders diejenigen im Vordringen, die auf elektrischen und photoelektrischen Effekten beruhen (Xerographie; zur Theorie s. Elektrophotographie S. 228).

Um 1935 gelang es dem Amerikaner Chester F. Carlson, einen gangbaren Weg für die Erzeugung von Ladungsbildern nach Vorlagen zu finden. Carlson benutzte einen photokonduktiven Halbleiter, einen festen Körper, der in Dunkelheit Isolator, in Licht elektrischer Leiter ist, und brachte ihn schichtweise auf eine leitende Platte. Nachdem er die Halbleiterschicht in Dunkelheit elektrostatisch aufgeladen hatte, projizierte er ein Muster auf sie. An den belichteten Stellen floß die Ladung ab; an den unbelichteten Stellen blieb jedoch eine Restladung erhalten, die er durch Bestäuben mit einem geeigneten Puder (z. B. Collophonium) sichtbar machte.

Damals wie heute wird ein elektrostatisches Ladungsbild dazu benutzt, eine färbende Substanz auf eine Halbleiterschicht zu bringen, die hier die Funktion einer Druckform übernommen hat. An die Stelle von Carlsons Schwefel- oder Anthrazenplatten sind allerdings heute Selen-, Selen/Arsen- oder Selen/Tellurschichten getreten. Ebenso wurde die Entwicklungsmethode auf einen hohen Stand gebracht, so daß es heute ohne weiteres möglich ist, mit Hilfe der Puderwolkenentwicklung eine Auflösung von 120 Linien/mm oder mit flüssigen Farbstoffen von 1 000 Linien/mm zu erreichen (was für das einfache Duplizierverfahren unerwünscht und gar nicht notwendig ist).

Heute hat sich eine Methode durchgesetzt, die als sog. Kaskadenentwicklung bekannt geworden ist. Ein Kunststoffpuder (Toner) mit speziellen reibungselektrischen Eigenschaften und großer Feinheit (0,5 – 3 Mikron) wird mit Stahl- und Quarzkügelchen, die mit einer ausgesuchten Plastikschicht überzogen sind und als Träger dienen, gemischt. Sobald dieses Gemisch in Bewegung gerät, laden sich Trägerkügelchen und Kunststoffpuder gegenseitig auf. Der Puder erhält dabei eine Aufladung, die zweckmäßigerweise entgegengesetzt der Ladung der Halbleiterschicht sein soll. Wird nun ein solches Gemisch auf der beschichteten Platte bewegt, so werden die zunächst an den Trägern haftenden Puderteilchen von den stärkeren Ladungsstellen der Schicht abgerissen. Das zunächst unsichtbare Ladungsbild wird durch die Puderanlagerung sichtbar. Nach Abschluß der Entwicklung, die nur Sekunden dauert, befindet sich ein vollständiges Staubbild auf der Platte. Um dieses Staubbild nun auf ein beliebiges Stück Papier oder einen anderen Werkstoff zu übertragen, setzt man ebenfalls elektrostatische Kräfte ein. Der vorgesehene Druckträger wird dazu lediglich über das Staubbild gelegt und von der Rückseite her aufgeladen. Das Puderbild haftet sodann an dem Druckträger.

Die Fixierung des übertragenen Puderbildes erfolgt durch Einfluß von Hitze, die den thermoplastischen Puder zum Schmelzen bringt, durch chemische Lösungsmittel, die aufgesprüht werden, oder durch eine Lackierung. Bei abgewandelten Verfahren werden z. B. Papiere verwendet, die eine Schicht aus Kunststoff und Zinkoxid besitzen. Das Staubbild wird direkt auf der halbleitenden Zinkoxidschicht fixiert.

Die xerographische Vervielfältigungstechnik wird nicht nur eingesetzt, um auf schnelle und einfache Weise Duplikate von Originalen herzustellen. Durch die Verwendung von normalem unpräpariertem Papier ergeben sich interessante Möglichkeiten, wenn beispielsweise Papiere eingesetzt werden, die durch geeignete Unterdrucke fälschungssicher gemacht wurden. Andererseits sind Transparentpapiere und Offsetfolien verwendbar und eröffnen ihrerseits neue Einsatzgebiete in der Vervielfältigungstechnik. Darüber hinaus ist es z. B. auch möglich, die Ausgabegeschwindigkeit bei Datenverarbeitungsanlagen (s. S. 370 ff.) mit xerographisch arbeitenden Druckern zu steigern. Das Ladungsbild wird z. B. durch die Elektroden der die Zeile bildenden Druckköpfe entsprechend den Impulsen aus der Datenverarbeitungsanlage erzeugt und danach in der beschriebenen Weise sichtbar gemacht.

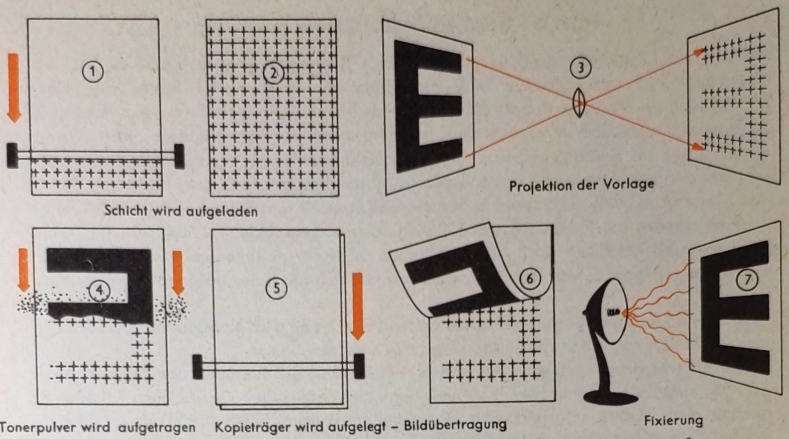


Abb. 1 Schema der Xerographie

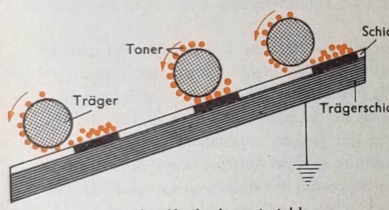


Abb. 2 Prinzip der Kaskadenentwicklung

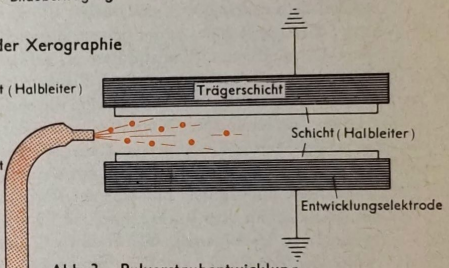


Abb. 3 Pulverstaubentwicklung

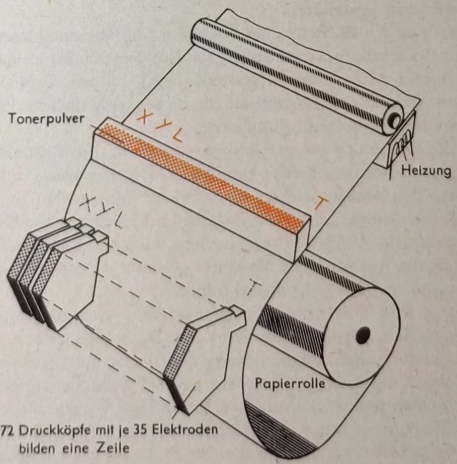


Abb. 4 Prinzip eines Schnelldruckers (Borrough)

INDUSTRIELLE BUCHBINDEREI

Die aus der Druckerei angelieferten bedruckten Bogen (Rohbogen) lassen sich in der Regel in 8-, 16- oder 32seitige Falzbogen teilen. Sie werden auf Paletten angeliefert, durchlaufen das Rohbogenlager und kommen dann zur Weiterverarbeitung in die Buchbinderei. Hier werden sie zunächst auf Schütteltischen ihrer Druckanlage entsprechend genau Kante auf Kante gebracht. Dann kann das Schneiden in Falzbogen an der *Schneidmaschine* erfolgen. Die Bogen werden dabei an ihrer Anlageseite angeschlagen und durch das Messer von oben nach unten in Stapeln von etwa 70 mm Höhe geschnitten. So vorbereitet werden die Falzbogen an die *Falzmaschine* weitergeleitet. Auf Schwert- oder auf Stauchfalzmaschinen wird jeder Falzbogen dabei so oft auf seiner längeren Seite in der Mitte gefaltet, bis sich das Rohformat und die richtige Reihenfolge der Seitenzahlen ergibt.

Der erste Bogen eines Buches enthält die Seiten 1 bis 16 und wird als Signatur 1 bezeichnet; der zweite Bogen enthält die Seiten 17 bis 32 (Signatur 2) usw.

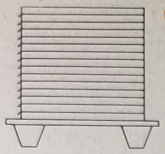
Diese verschiedenen gefalzten Signaturen werden auf die Stationen der *Zusammentragmaschine* aufgelegt. Es sind jeweils so viele Stationen notwendig, wie das Buch Falzbogen enthält. Jede Station befördert einen Bogen auf ein kontinuierlich durchlaufendes Band, so daß dem ersten Bogen des Buches alle weiteren folgenden Bogen dazugelegt werden. Am Schluß des Bandes ergibt sich ein komplettes Buch aus losen Falzbogen. Die Kontrolle der Vollständigkeit (Kollationierung) erfolgt durch Blickfixierung nach den auf dem Rücken der Bogen aufgedruckten Flattermarken.

An der *Fadenheftmaschine* werden nun die einzelnen Bogen in sich und miteinander durch Heftzwirn verbunden. Sie werden dazu in der Mitte aufgeschlagen und auf den Schwingsattel der Heftmaschine gelegt. Dabei stechen Nadeln durch den Rücken und führen die Fäden hindurch. Sind alle Bogen eines Exemplares nacheinander geheftet, ist bereits ein Buchblock entstanden. Zur engeren Verbindung der Bogen untereinander werden die Buchblöcke mit dem Rücken über mit Leim getränkte Walzen geführt und später wieder getrocknet. Es folgen das Niederhalten (Zusammenpressen des Buchrückens) und das Beschneiden der Blocks am *Dreischneider*. Der Block wird in die Maschine eingesetzt und von drei Messern zuerst an Kopf und Fuß und später gegenüber dem Rücken auf das vorherbestimmte Format beschnitten.

Jetzt führt der Weg des Buches weiter über die Schnittfärbemaschine, die den Farbschnitt auf dem Kopf des Buchblocks aufbringt, die Rundemaschine, an der der bisher gerade Rücken des Buches halbmaschinell gerundet wird, bis zur Kapital- und Hinterklebemaschine. Dort werden vollautomatisch ein rückenverstärkendes Papier und das kopf- und fußverzierende Kapitelband aufgebracht.

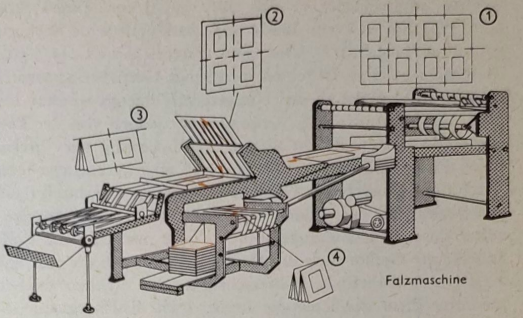
Darauf wird der Buchblock auf der *Einhängemaschine* in die in getrennten Arbeitsgängen hergestellte und vorbereitete Decke eingehängt. Die Buchdecke wird voll- oder halbautomatisch auf der Deckenmaschine aus zwei im Format dem Buchblock angepaßten Pappen, der Rückeneinlage und dem Bezugstoff (Leinengewebe, Kunststoff) mit Heißleim zusammengehängt. Auf der Prägemaschine wird durch Heißprägung mit Farbe beschichteter Folie der Aufdruck auf die Decke gebracht. Weitere kleinere Deckenbearbeitungsgänge (ausbiegen, Rücken runden) folgen.

Beim Einhängen wird der Buchblock auf ein sich zwischen Leimwalzen bewegendes Schwert aufgeschoben. Das Schwert führt den Buchblock zwischen den Leimwalzen hindurch (wobei die beiden äußeren Seiten des Blocks mit Leim benetzt werden) und drückt ihn dann in die in einer Halterung darüber befindliche Decke. Das Buch wird danach abgenommen und in einer kleinen Presse kurz vorgepreßt, um dann im großen Stapel in der Stockpresse unter Druck etwa 1–2 Stunden zu trocknen. Jetzt folgen bis zur Versandbereitschaft noch das Falzeinbrennen (Gelenk, Verbindung Rücken–Decke), das Nachsehen, das Umlegen des Schutzumschlags und das Einschlagen des Buches.

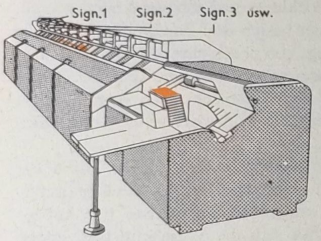


Rohbogenlager

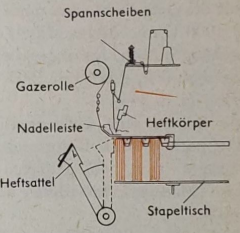
schütteln, schneiden



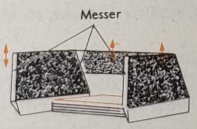
Falzmaschine



Zusammentragautomat



Fadenheftmaschine

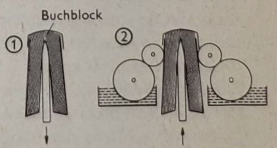


Dreischneider

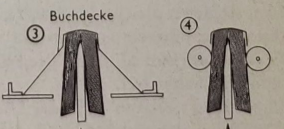
Schnitt färben

runden

Kapitalband aufbringen, hinterkleben



Vorsatz anschmieren



Buchdecke aufnehmen

Anreiben der Decke

Bucheinhängemaschine

pressen

trocknen

Falz einbrennen
nachsehen
Schutzumschlag

SCHLEPPER UND SCHLEPPERZUBEHÖR I

Der Schlepper ist die wichtigste Landmaschine im modernen Bauernbetrieb. In seinem Aufbau unterscheidet er sich nur wenig von einem Kraftwagen. Ein Dieselmotor (s. S. 592) gibt meistens über eine Gelenkwelle seine Leistung an das 8–10stufige Schaltgetriebe ab (vgl. S. 612). Über das Differentialgetriebe (s. S. 622) wird diese dann in die Antriebsräder geleitet. Durch entsprechende Getriebeübersetzung kann an und für sich eine beliebig hohe Kraft an den Hinterrädern erzeugt werden. Die Vortriebskraft und damit auch die Zugkraft des Schleppers hängt jedoch von der Belastung ab, die auf den Antriebsrädern liegt. Bei zu kleiner Achsbelastung der Triebachse würden die Antriebsräder durchrutschen. Deshalb läßt sich eine wesentliche Steigerung der Zugkraft außer durch die entsprechende Getriebeübersetzung nur durch Erhöhung des Druckes der Antriebsräder auf den Boden erreichen. Zu diesem Zwecke werden an die Antriebsachse Zusatzgewichte angeschraubt, oder man füllt die Reifen mit Wasser. Oft werden angehängte Geräte auch so gebaut, daß sie durch die sich bei ihrem Einsatz ergebenden Kräfte eine zusätzliche Hinterachsbelastung ergeben. Neben seiner Aufgabe als Zugmaschine dient der Schlepper immer mehr als Energiequelle für angehängte Maschinen. An den sogenannten Zapfwellen, die aus dem Getriebeblock des Schleppers herausragen, wird die Energie „abgezapft". Der moderne Schlepper besitzt drei Zapfwellen: zwei am Ende des Getriebeblockes unter der Anhängekupplung, von denen eine mit 540, die andere mit 1000 U/min dreht. Mittels einer Gelenkwelle kann von hier aus die Energie an eine angehängte Maschine abgegeben werden. Die dritte Zapfwelle steht nach vorn aus dem Getriebeblock, dreht mit 1000 U/min und dient speziell dem Antrieb eines Anbaumähwerkes (s. S. 546).

Eine weitere sehr wichtige Einsatzmöglichkeit des Schleppers ergibt sich durch die Schlepperhydraulik. Ursprünglich war diese eigens für Hubverstellungen des Dreipunktgestänges (s. S. 546) gedacht. Durch den Anbau weiterer Arbeitskolben für Anbaugeräte (Mähwerkverstellung, Frontlader u. a.) erweitert sich ihr Aufgabengebiet jedoch ständig.

Ölkreislauf der Blockhydraulik: Die Hydraulik-Zahnradpumpe (es gibt auch Kolben- und Flügelzellenpumpen) wird vom Motor über ein kleines Getriebe angetrieben, saugt dabei das Öl aus der Saugleitung, die vom Ölbehälter ausgeht, an und drückt es in die Druckleitung, die zum Steuerventil führt.

In Stellung „Heben" gibt der Längsschieber die Öffnung zum Arbeitszylinder frei. Der Kolben schiebt sich langsam aus dem Zylinder (die von ihm im Block verdrängte Luft kann durch das Luftfilter entweichen). Diese Bewegung wird über Hubschwinge, -welle, -arm und -koppel in eine Hubverstellung der beiden unteren Lenker umgewandelt. Je nach Größe der angehobenen Last bildet sich dabei ein entsprechender Druck in der Druckleitung aus. Ist die Last so groß, daß in der Druckleitung der höchstzulässige Grenzdruck von ca. 150 kp/cm² erreicht wird, so spricht das dem Steuerventil vorgeschaltete Sicherheitsventil an. Es öffnet eine Umgehungsleitung, die direkt zum Ölbehälter führt. Die Last kann nicht gehoben werden, jedoch bleibt die Anlage ohne Schaden. In Stellung „Neutral" schließt der Längsschieber die Leitung zum Arbeitszylinder ab, so daß der Kolben blockiert wird. Da die Pumpe aber ständig weiterläuft und Öl fördert, gibt der Längsschieber gleichzeitig eine Leitung zum Ölfilter frei, wo das Öl unter leichtem Druck durch den Filtereinsatz gedrückt wird und dann in den Ölbehälter zurückfließt. Ist der Filtereinsatz einmal durch Rückstände verstopft, so gibt ein Überdruckventil den Weg zum Ölbehälter frei.

In Stellung „Senken" gibt der Längsschieber die Leitung zum Arbeitskolben frei. Unter dem Druck der angehängten Last fließt das Öl aus dem Arbeitskolben und mit dem von der Pumpe kommenden Öl über das Ölfilter in den Behälter ab. Zur Verriegelung der Hydraulik ist eine Sperre eingebaut, die die Hubschwinge blockiert.

Abb. 1 Schlepper

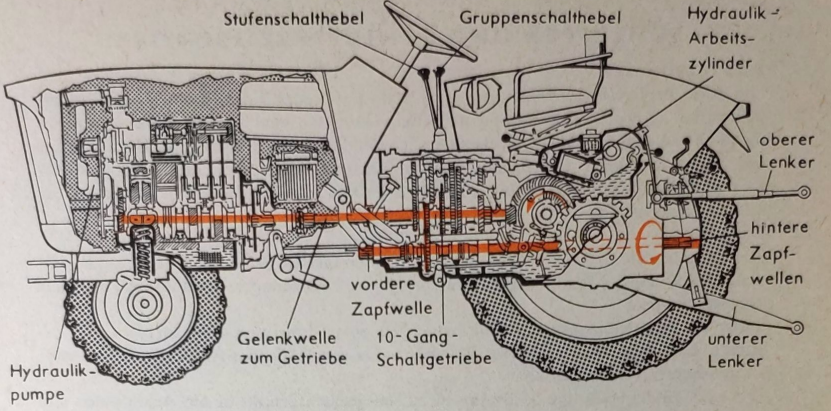
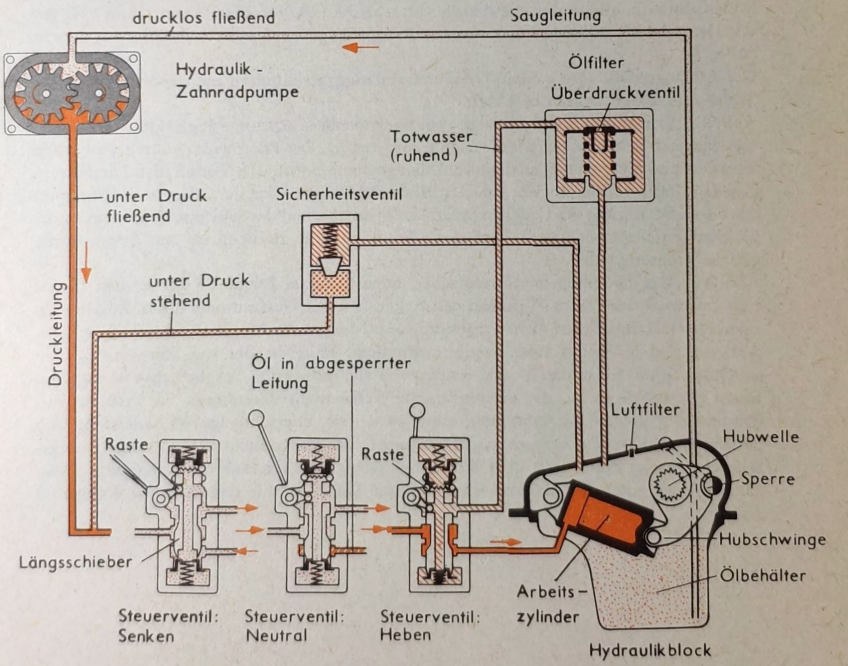


Abb. 2 Ölkreislauf der Blockhydraulik



SCHLEPPER UND SCHLEPPERZUBEHÖR II

Anbaumähwerk

Die dritte Zapfwelle des Schleppers (s. S. 544) dient speziell dem Antrieb eines Anbaumähwerkes (Abb. 1). Auf dieser Zapfwelle wird hierzu eine Kurbelscheibe angesteckt, die die Messerklinge über Kurbelstange, Schwinghebel und Schwinge in Hubbewegungen versetzt. Gegen Bruchgefahr durch Verstopfungen oder grobe Gegenstände (Steine, Holz) ist der Antrieb mit einer Rutschkupplung abgesichert, die in der Kurbelscheibe eingebaut ist.

Der Pflug

Der Pflug ist eines der ältesten landwirtschaftlichen Geräte. Seine Aufgabe ist es, für eine neue Bestellung des Feldes den Boden zu lockern, Naturdünger, Unkraut und Stoppeln unterzupflügen.

Trotz der fortschreitenden Technik haben sich seine Form und sein Aufbau kaum geändert. Lediglich der Sterzen hat bei den modernen Schlepper-Anhängepflügen seine Daseinsberechtigung verloren.

Das am Grindel befestigte Sech führt einen senkrechten Schnitt in den Ackerboden und trennt so die Land- (ungepflügte Feldseite) von der Furchenseite (gepflügte Feldseite). Das nachfolgende Schar bestimmt die Furchentiefe. Es schneidet den Boden waagerecht und hebt ihn zu dem am Rumpf befestigten Streichblech an, das die Wendearbeit besorgt. Während der fortschreitenden Bewegung des Pfluges durch den Boden übernehmen die Schleifsohle die untere und die Anlage die seitliche Führung des Pfluges. Zum völligen Wenden oder Unterpflügen von Stroh und Stoppeln ist häufig ein Vorschäler angebracht (Abb. 3).

Der Anhängepflug wird an dem Dreipunktgestänge (zwei untere, ein oberer Lenker) des Schleppers mittels Bolzen befestigt.

Abb. 4a: Der Volldrehpflug besitzt zwei übereinander liegende Pflugkörper, von denen der eine nach links und der andere nach rechts wendet. Der Pflug wird dadurch wesentlich schwerer und nicht zuletzt auch teurer. Man gewinnt jedoch den Vorteil, daß Leerfahrten in jedem Falle vermieden werden. Am Ende der Furche wird der Pflug vom Fahrersitz aus durch Betätigung des Drehwerkstellhebels gedreht, und der Schlepper kann nun in der gleichen Furche zurückfahren, wobei der Pflug die Erde, bezogen auf den Acker, in die gleiche Richtung kehrt.

Abb. 4b: Der Beetpflug ist ein einfacher, relativ leichter Pflug. Er wendet den Boden stets nur nach einer Seite. Will man den Acker in seiner Gesamtbreite durch Zusammen- oder Auseinanderpflügen nicht verändern, so bleibt nur die Möglichkeit einer Leerfahrt.

Abb. 4c: Ein moderner, noch wenig verbreiteter Pflug ist der sog. Kreiselpflug. Ein schmales Schar führt den Boden einem von der Zapfwelle des Schleppers angetriebenen Kreiselkörper zu, der die eigentliche Wendearbeit übernimmt. So wird ein verhältnismäßig großer Zugkraftanteil eingespart. Die überschüssige Motorleistung des Schleppers, die wegen der geringen Haftfähigkeit der Reifen nicht in Zugleistung umgewandelt werden kann, wird über eine Gelenkwelle dem Kreiselkörper zugeführt. Man kann so bei guter Krümelung schneller und tiefer als mit den üblichen Pflugarten pflügen.

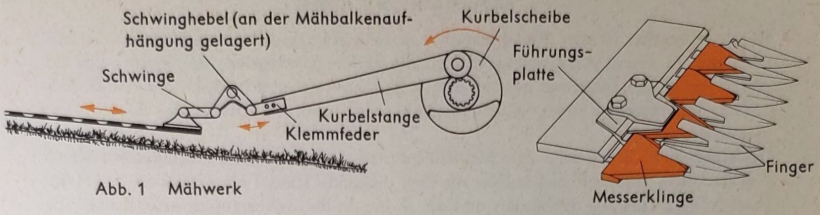


Abb. 1 Mähwerk

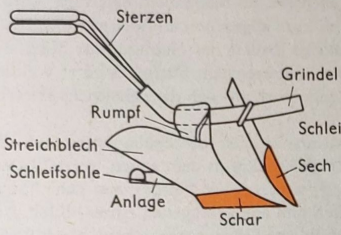


Abb. 2a Pflug

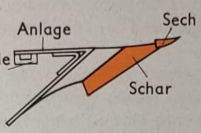


Abb. 2b Pflug (von oben gesehen)

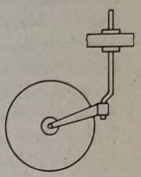


Abb. 2c Scheibensech

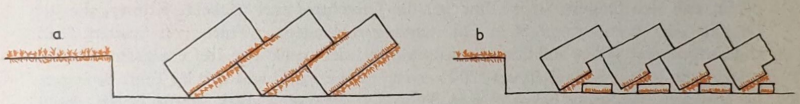


Abb. 3 Wirkung des Vorschälers (a ohne, b mit Vorschäler gepflügt)

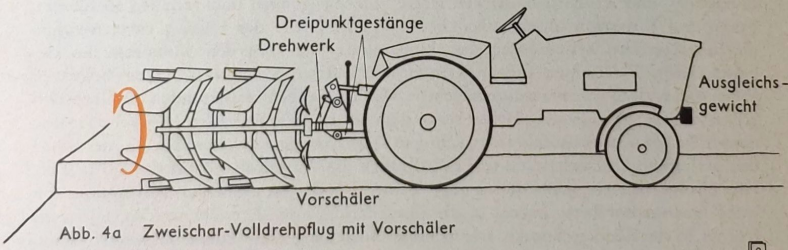


Abb. 4a Zweischar-Volldrehpflug mit Vorschäler

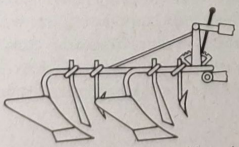


Abb. 4b Zweischar-Beetpflug mit Vorschäler

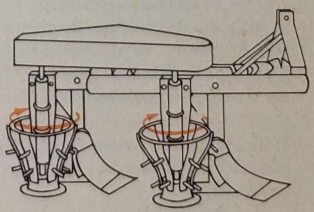


Abb. 4c Kreiselpflug

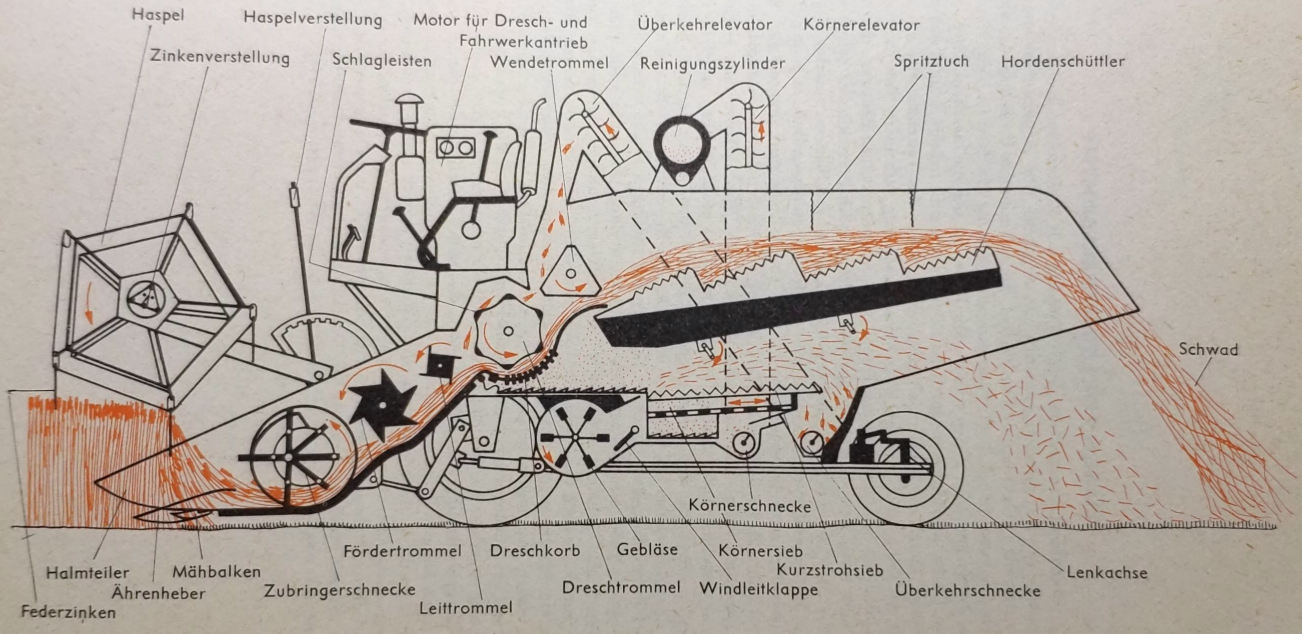
MÄHDRESCHER

Der Mähdrescher ist eine Kombination von Körnerfrucht-Erntemaschine und Dreschmaschine. In einem Arbeitsgang werden die Halme geschnitten, die Körner aus den Ähren gelöst, gereinigt und gegebenenfalls das Stroh gebunden. Nach der Art des Antriebes unterscheidet man Anhängemähdrescher und selbstfahrende Mähdrescher (Selbstfahrer).

Das stehende Halmgut wird vom Mähbalken erfaßt und von einem oszillierenden Messer abgeschnitten, während gleichzeitig die sich drehende Haspel ein Umfallen des Halmgutes in Fahrtrichtung verhindert und die Halme in die Zubringerschnecke drückt. Bei Lagergetreide (von Wind und Regen auf größeren Flächen umgedrücktes Halmgut) heben die Federzinken der tiefgestellten Haspel und mehrere am Mähbalken befestigte Ährenheber das Halmgut an, damit die Halme nicht zu kurz abgeschnitten oder gar vom Mähbalken überfahren werden. Die Zubringerschnecke fördert das Halmgut zur Mitte der Maschine, von wo es Zinken zur Förderttrommel weiterreichen. Danach wird es von der Leittrommel ergriffen und der Dreschtrommel zugeführt, wo sich der eigentliche Dreschvorgang vollzieht.

Mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 25–35 m/s klopfen die Schlagleisten auf die Ähren; ihre schrägen Riefen verursachen dabei gleichzeitig in dem engen, verstellbaren Spalt zum Dreschkorb eine reibende Bewegung, wodurch die Körner aus den Ähren gelöst werden und mit Spreu, kurzen Strohteilen und abgeschlagenen Ähren durch den gitterartigen Dreschkorb auf das Kurzstrohsieb fallen. Das ausgedroschene Stroh fließt nun zum Hordenschüttler. Die der Dreschtrommel nachgeschaltete Wendetrommel lenkt dabei das aus dem Dreschkorb kommende Stroh in die Schüttlerebene um und verhindert damit, daß sich längere Strohhalme um die Dreschtrommel wickeln. Körner, die die Dresch- oder Wendetrommel in Flußrichtung schleudert, werden von Spritztüchern abgefangen und fallen auf den Hordenschüttler, der meist aus drei einzelnen Horden besteht, die auf Kurbelwellen um 120° versetzt gelagert sind und sich im Takte bewegen. Sie schütteln das Stroh, bevor es zum Schwad ausgeworfen wird, kräftig durch, damit auch die restlichen Körner (bis auf geringe Verluste) noch herausfallen. Sie rutschen auf dem Boden des Schüttlers zurück und fallen ebenfalls auf das Kurzstrohsieb.

Kurzstroh- und Körnersieb machen kleine Hubbewegungen und verteilen so Körner, Spreu und Kurzstroh gleichmäßig über die ganze Breite des Kanals; dabei wandern die zu reinigenden Teile langsam nach hinten und werden von dem Luftstrom des Gebläses erfaßt. Die leichten Teile, z.B. Spreu und Kurzstroh, fliegen in weitem Bogen ins Freie, während schwerere unausgedroschene Ähren früher herabfallen und in die Überkehrschnecke gelangen. Diese befördert sie zu dem an der Seite liegenden Überkehrelevator, dessen Becher oder Schaufeln sie erneut dem Dreschvorgang zuleiten. Die Körner haben den geringsten Luftwiderstand und fallen durch das Kurzstrohsieb auf das Körnersieb. Hier erfolgt die erste, grobe Reinigung. Während Teile von größerem Durchmesser (oft halbe unausgedroschene Ähren) in die Überkehrschnecke abgesiebt werden, fallen die Körner in die Körnerschnecke. Die richtige Einstellung des Gebläses bestimmt hauptsächlich die Reinheit des Erntegutes und zugleich auch die Höhe der Körnerverluste. Um eine Anpassung an die verschiedensten Getreidearten zu ermöglichen, sind Stärke und Richtung des Windes einstellbar. Die Regelung der Stärke erfolgt meist durch Drosseln der Ansaugluft, während die Richtung durch die Windleitklappe korrigiert werden kann. Die Körnerschnecke drückt die ausgedroschene Frucht in den Körnerelevator, mit dessen Hilfe sie in den Reinigungszylinder gelangt, wo die meisten der restlichen Verunreinigungen entfernt werden, bevor das Gut endgültig über die Absackvorrichtung in Säcke gefüllt wird.


Haspel
Haspelverstellung
Motor für Dresch- und Fahrwerkantrieb
Überkehrelevator
Körnerelevator
Zinkenverstellung
Schlagleisten
Wendetrommel
Reinigungszylinder
Spritztuch
Hordenschüttler
Schwad
Körnerschnecke
Halmteiler
Mähbalken
Fördertrommel
Dreschkorb
Gebläse
Körnersieb
Kurzstrohsieb
Lenkachse
Ährenheber
Zubringerschnecke
Dreschtrommel
Windleitklappe
Überkehrschnecke
Federzinken
Leittrommel

RÜBENVOLLERNTEMASCHINE

Durch die Rübenvollerntemaschine (Abb. 1) werden z. B. Zuckerrüben in einem Arbeitsgang geköpft, geputzt, gerodet, gesammelt und umgeladen. Das Köpfen übernimmt die Köpfvorrichtung (Abb. 3 und 4). Das Tastrad, das sich mit einer Umfangsgeschwindigkeit dreht, die etwas höher als die Fahrgeschwindigkeit der Maschine ist, wird von dem Stützrad knapp über dem Boden geführt. Die Rübe, der sich die Maschine nähert, wird von dem Tastrad überlaufen, wodurch das Köpfmesser auf die richtige Schnitthöhe angehoben wird. Durch die höhere Umfangsgeschwindigkeit des Tastrades wird ein Ausweichen der Rübe unter dem Druck des Messers nach vorn verhindert. Während die geköpfte Rübe von dem seitlich an der Kuppe noch stehenden kleinen Blattwerk durch die gegenläufig rotierenden Gummischläger der nachfolgenden Putzschleuder befreit wird (vgl. Abb. 5), wandert der abgeschnittene Rübenkopf mit den Blättern, von dem Tastrad über die Messerharfe geschoben, über den Blattelevator, an dessen Ende er in dem Blattsammelbehälter (nicht eingezeichnet) oder über eine Rutsche zum Längsschwad abgelegt wird (Abb. 2). Parallel zur Köpfvorrichtung arbeitet der Rodemechanismus in der zuvor geköpften Reihe. Die Rodegabel wird von den Führungskufen stets in der zu Beginn eingestellten Arbeitstiefe geführt. Sie erfaßt die geköpfte Rübe unterhalb ihres größten Umfanges, löst sie aus dem Boden und führt sie dem seitlich liegenden Siebstern zu. Um ein Ausbrechen der Rübe vor der Rodegabel zu verhindern, läßt sich zwischen Stützrad und Führungskufen noch ein Scheibensech anbringen. Der rotierende Siebstern schleudert die Rübe mehrmals gegen das Leitgitter, wodurch noch anhaftende Erde von ihr gelöst wird. Der Leitrost führt die Rübe dem Rübenelevator zu, der sie zum Rübenbunker bringt. Je nach der Länge des Ackers und dem Ertrag können mehrere Reihen gerodet werden, bevor man den Bunker in einen bereitgestellten Wagen entleeren muß. Hierzu braucht man nur seitlich an den Wagen heranzufahren und das Entladeband, das eine Wand des Rübenbunkers bildet, einzuschalten. Damit auch alle Rüben den Zinken des Bandes zugeführt werden, läßt sich der Rübenbunker um die Achse A–A (Abb. 1) durch einen Hydraulikkolben anheben, ohne daß sich die Stellung des Bandes ändert. Damit auch aus der Reihe stehende Rüben von der Rodegabel richtig erfaßt werden können, sind die Rodewerkzeuge in einem kleineren Bereich lenkbar konstruiert. Die Lenkung erfolgt über Steuerrad und Spindel vom Steuersitz der Maschine aus oder im „Einmannbetrieb" hydraulisch durch den Schlepperfahrer, der die Steuergeräte hierzu seitlich auf dem Kotflügel befestigt hat. Die Antriebsenergie erhält die Rübenvollerntemaschine über eine Gelenkwelle von der Zapfwelle des Schleppers (s. S. 544).

Abb. 1

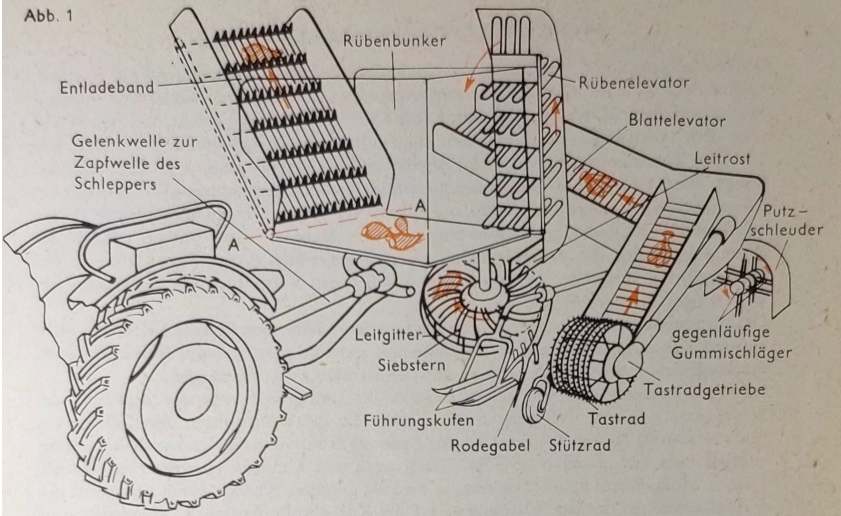
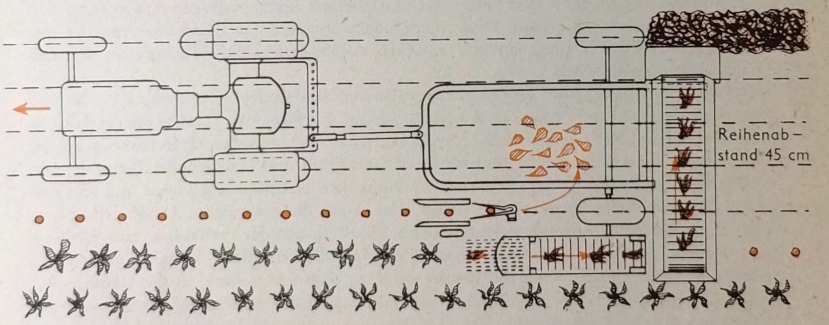


Abb. 2



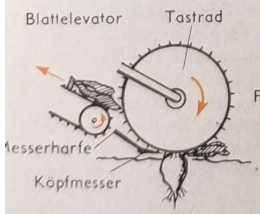


Abb. 3 und Abb. 4 Köpfvorrichtungen

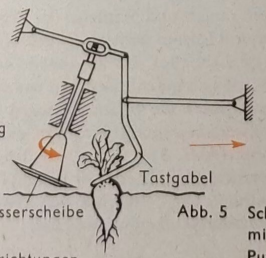
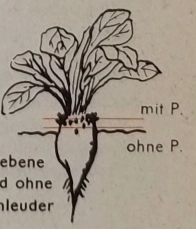


Abb. 5



Schnittebene mit und ohne Putzschleuder

HOCHDRUCKSAMMELPRESSE

Die Hochdrucksammelpresse sorgt für eine rationelle Heu- und Strohbergung. In einem Arbeitsgang wird das Gut aufgenommen, gepreßt, gebunden und aufgeladen. Das im Schwad gelagerte Heu oder Stroh wird von den Pick-up-Zinken erfaßt, angehoben und unter den Niederhaltezinken hindurch zur Förderschnecke geleitet. Diese schiebt das Gut zum Zubringerzinken, der es im Rhythmus der Kolbenbewegung in den Preßkanal bringt. Hier wird es vom Preßkolben zu handlichen Lagen zusammengedrückt. Um ein Klemmen des nur teilweise zugeführten Gutes zu vermeiden, werden überstehende Halme von Preßkolben- und Gegenmesser abgeschnitten. Mehrere Lagen werden vom Bindegetriebe zu Ballen mit variabler Länge zweifach gebunden (s. u.). Dabei läßt sich der Pressungsgrad verändern, wenn man den Kanal durch Verstellung der Preßschiene erweitert oder verengt (Abb. 1).

Die ausgestoßenen Ballen werden schließlich in der sogenannten Ballenschurre nach oben auf den Wagen gedrückt, wo sie abgenommen und aufgesetzt werden. Es besteht auch die Möglichkeit, anstelle der Schurre eine Ballenschleuder zu verwenden.

Ihre Antriebsenergie bezieht die Presse über die Gelenkwelle von der Zapfwelle des Schleppers (s. S. 544). Das Schwungrad gleicht die Belastungsspitzen des Kolbens aus und überwindet so den Totpunkt bei der Pressung. Hierdurch wird ein verhältnismäßig ruhiger Lauf der Maschine erreicht. Geraten mit dem Erntegut sperrige Fremdkörper (Steine, Holz, Eisen) in die Maschine, so wird ein größerer Schaden durch Abscheren des Sicherheitsstiftes, der das Schwungrad auf der Kurbelwelle mitnimmt, vermieden. Das Schwungrad dreht sich nun frei und kann seine aufgespeicherte Energie nicht mehr auf den Kolben übertragen. Nach Beseitigung des Fremdkörpers wird der Stift erneuert und die Maschine ist wieder betriebsfertig. Weitere Überlastungssicherungen sind in Form von Rutschkupplungen eingebaut. Diese Kupplungen sprechen bei Überschreitung der eingestellten Höchstbelastung an und rutschen durch, bevor die Bruchgrenze der Antriebsteile erreicht wird.

Der Knüpfvorgang (Abb. 3): Die Knüpfwerkzeuge sind in den Abbildungen 2a, 2b und 2c dargestellt; Abb. 3a zeigt den Ausgangszustand. Nachdem das Garn in die (in Abb. 3a nicht sichtbare) Nadel eingefädelt ist, wird das freie Ende durch den Messerhebel gezogen, über die Knoterzunge gelegt und zwischen Garnhalter und Garnscheibe festgeklemmt. Während des Preßvorganges wird das Garn aus dem Garnkasten gezogen und legt sich um den nach hinten wandernden Ballen. Hat dieser die eingestellte Länge erreicht, so wird der Bindemechanismus ausgelöst (Abb. 3b). Während der Preßkolben zum nächsten Stoß ausholt, bringt die Nadel durch den Preßkanal das Garn hoch, umfaßt so den Ballen und legt den 2. Faden über die Knoterzunge zu dem freien Ende in die Garnscheibe, welche sich, noch bevor die Nadel wieder zurückgeht, zu drehen beginnt und so beide Garnfäden sicher festhält (Abb. 3c). Gleichzeitig beginnt die Drehung des Knoters. Im letzten Drittel der Umdrehung (Abb. 3d) öffnet sich die Knoterzunge, so daß die beiden Garnenden zwischen Zunge und Schnabel zu liegen kommen. Die Garnscheibe dreht sich ebenfalls weiter und hält im nächsten Augenblick den zur Nadel führenden Faden in der zweiten Nute fest (Abb. 3e). Bis zu diesem Zeitpunkt ist die Knoterdrehung vollendet. Der Schnabel hat sich geschlossen und das Messer schneidet durch eine Schwenkbewegung des Messerhebels die Fäden zwischen Knoter und Garnscheibe ab. Durch Fortführung der Schwenkbewegung wird nun die Garnschlinge mittels Abstreifer von dem Knoter gestreift (Abb. 3f), wobei die beiden kurzen freien Enden durch die Schlinge gezogen werden. Der Knoten ist geknüpft und der Messerhebel geht in seine Ausgangsstellung zurück. Die Nadel hat sich inzwischen so weit gesenkt, daß sie den Preßkanal für den nächsten Kolbenhub freigibt.

Abb. 1 Hochdrucksammelpresse (schematisch)

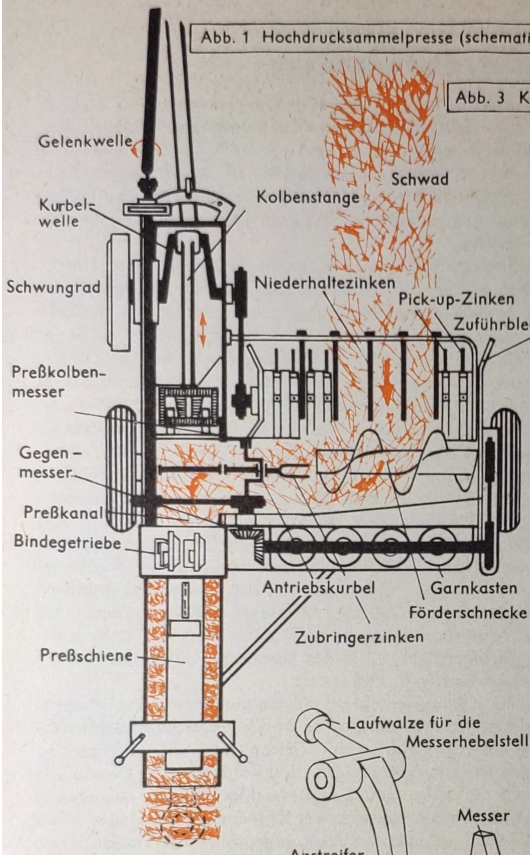


Abb. 2a Messerhebel

Abb. 2b Knoter

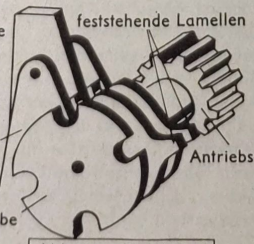
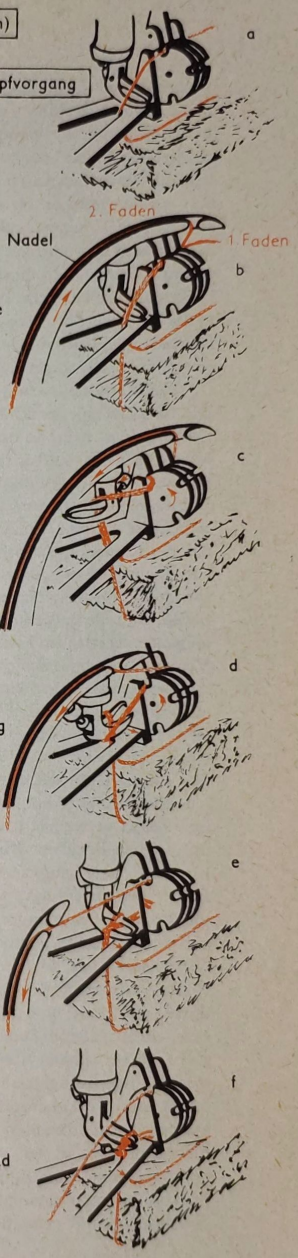


Abb. 2c Garnhalter

Abb. 3 Knüpfvorgang



RÖNTGENAPPARATE

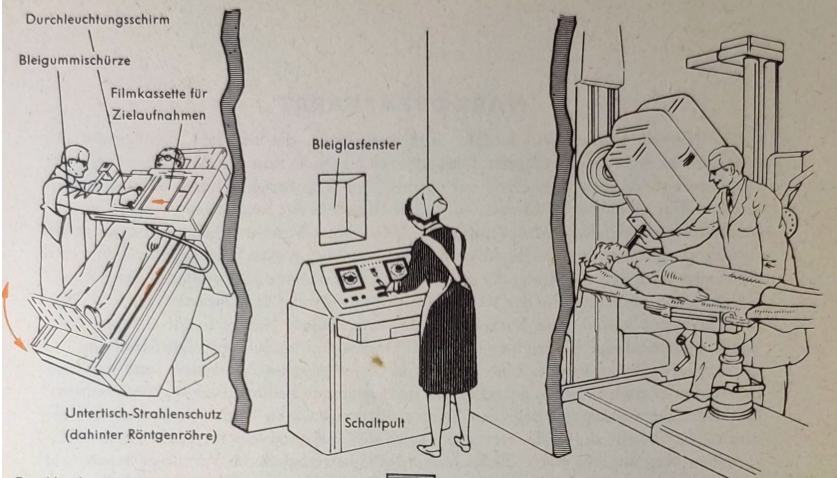
Röntgenapparate im weiteren Sinne sind alle Apparaturen, mit denen in der Medizin durch Röntgenstrahlen Untersuchungen zur Diagnosestellung oder Strahlenbehandlung, in der Technik Werkstoffprüfungen ausgeführt werden. Je nach Verwendungszweck werden besondere Apparate und Röhrentypen verwendet. In der Röntgentherapie zielen die verschiedenen Gerätetypen und Röhrenanordnungen vor allem auf die Applikation größtmöglicher Strahlenquantitäten auf den Krankheitsherd unter weitgehender Schonung des umgebenden Gewebes.

Röntgenstrahlen sind kurzwellige elektromagnetische Schwingungen, die feste Körper zu durchdringen vermögen (vgl. S. 136). Sie entstehen, wenn in einem luftleeren Raum Elektronen freigemacht, stark beschleunigt und dann abgebremst werden; dies geschieht in der Röntgenröhre. Zur Freimachung der Elektronen wird der aus Wolfram bestehende Heizfaden der Kathode durch elektrischen Strom zur Weißglut gebracht; bei etwa 2000 °C treten die Elektronen aus. Ihre Beschleunigung erfolgt durch eine zwischen Anode (+) und Kathode (—) angelegte hohe Spannung (etwa 10000 bis mehrere 100000 Volt). Die Abbremsung der Elektronen erfolgt bei ihrem Aufprall auf die Anode (Brennfleck). Die Anode ist heute in den meisten Röhren als tellerförmige Drehanode (Abb. 3) ausgebildet; dadurch wird in jedem Augenblick ein anderer Teil der Anode als Brennfleck belastet. Die Röntgenröhre selbst (Glaskolben mit Anode und Kathode) ist von einer Röhrenschutzhaube umhüllt; eine Ölfüllung dient der Ableitung der beim Betrieb entstehenden Wärme. Die zum Betrieb einer Röntgenröhre benötigte Hochspannung liefert der Hochspannungstransformator (vgl. S. 122), der die Drehstromspannung des Netzes auf die in der medizinischen Diagnostik notwendige Spannung hinauftransformiert. Damit alle Stromstöße des Wechselstroms in gleicher Richtung durch die Röntgenröhre gehen, sind dieser Ventilröhren vorgeschaltet. Man unterscheidet Vier- und Sechsventilapparate; letztere sind leistungsfähiger (Abb. 4). In den modernsten Apparaten sind die Ventile durch Sperrschichtgleichrichter (s. S. 110) ersetzt.

Am besten sind Knochen und mit Kontrastmitteln gefüllte Hohlorgane auf den Röntgenaufnahmen darstellbar. Für die Aufnahme von Knochen wird im allgemeinen der Buckytisch verwendet (Anordnung der Röntgenröhre mit Tiefenblende und Lichtvisier an einem Stativ über einem Tisch mit verschiebbarer Streustrahlenblende), zur Darstellung des Magen-Darm-Kanals sowie für Herz- und Lungendurchleuchtungen das Durchleuchtungsgerät (Abb. 1). Für Aufnahmen von kleineren Körperteilen wie Finger, Hand und Zehen verwendet man die Röntgenkugel, bei der Röntgenröhre und Transformator im gleichen Behälter vereinigt sind. Vom Schaltpult aus kann wahlweise der Buckytisch für Knochenaufnahmen oder das Durchleuchtungsgerät bedient werden.

In der Röntgentherapie wird besonders bei der Behandlung von Krebsgeschwülsten mit viel höheren Spannungen gearbeitet als in der Diagnostik. Auch hier liegt der Patient auf einem Lagerungstisch oder sitzt vor der Therapieröhre. Diese arbeitet entweder feststehend oder wird nach einem bestimmten Plan bewegt, so daß der aus der Röhre austretende Röntgenstrahl den Krankheitsherd trifft, aber bei seinem Durchtritt durch die Haut und die oberen Gewebsabschnitte des Patienten fortlaufend kreisend einen anderen Punkt berührt. Die Bezeichnung „Schichtaufnahmen" rührt daher, daß man bei diesem Verfahren Krankheitsherde in bestimmten Körpertiefen genau auf einer Röntgenaufnahme beurteilen will. Man kann mit Schichtaufnahmen (nach verschiedenen Methoden) beispielsweise Zerfallshöhlen in der Lunge bei tuberkulösen Erkrankungen genau feststellen und lokalisieren. Bei der Tomographie (Abb. 2) werden z. B. die Aufnahmen in den verschiedenen Schichttiefen mit gegenläufig gekoppelter Bewegung von Röhre und Film ausgeführt, wobei Röhre und Film auf Kreisbögen verlaufen. So kommt es zu einer Abbildung, bei der lediglich Körpergewebe in der gewünschten Schnittiefe scharf gezeichnet dargestellt wird.

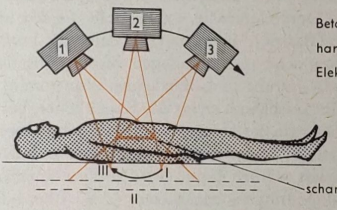
Abb. 1 Diagnostischer Röntgenarbeitsplatz (Teilansicht) mit Raum für Elektronentiefentherapie



Durchleuchtungsraum mit kippbarem Durchleuchtungsgerät

Betatron für Therapie mit ultraharten Röntgen- und energiereichen Elektronenstrahlen

Abb. 2 Schichtaufnahme (Tomographie)



1, 2, 3 = Röhrenweg
I, II, III = Filmweg

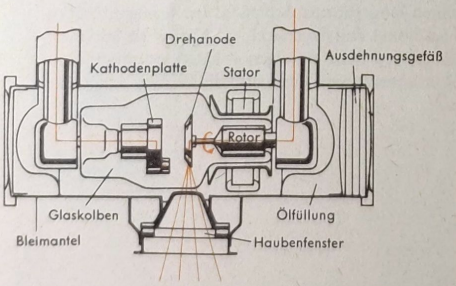


Abb. 3 Halbschematische Darstellung einer Röhrenschutzhaube mit Ölfüllung für Drehanodenröhren

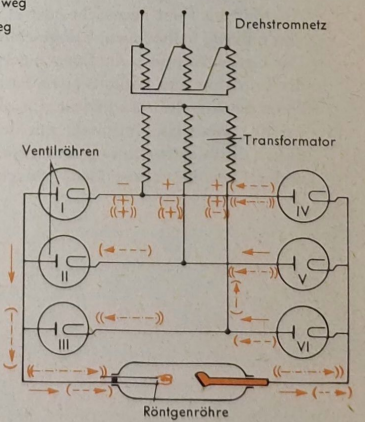
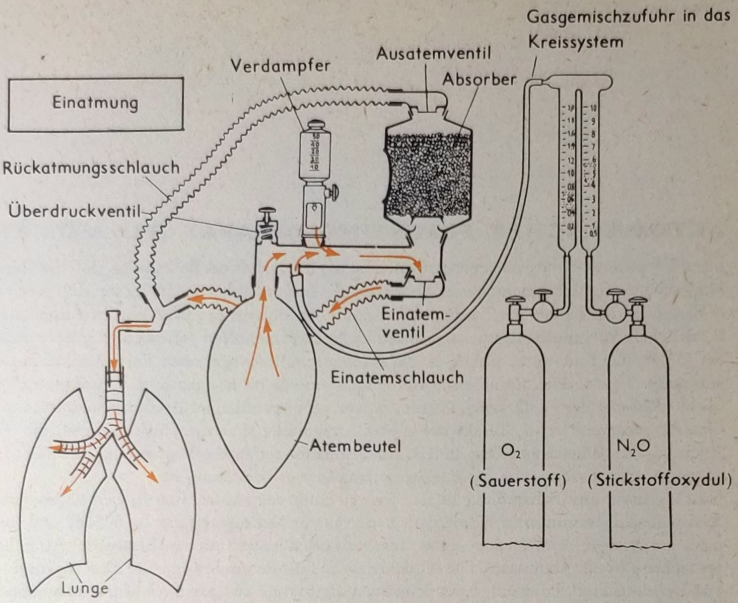


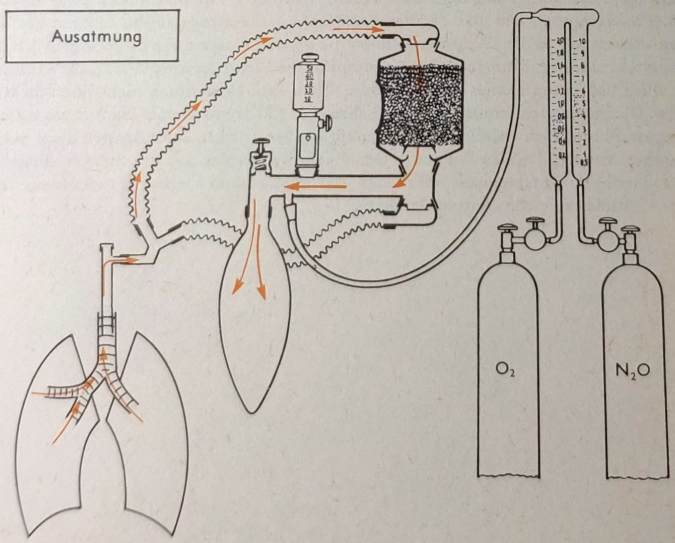
Abb. 4 Schaltung eines Sechsventilapparates

NARKOSEAPPARAT

Bei der Narkose werden dem Körper Stoffe zugeführt, die zu einer Blockierung der Funktion der Nervenzellen führen. Dies geht mit einem Verlust des Bewußtseins und der Schmerzempfindung einher. Diese auf chemischem Weg herbeigeführte Blockierung ist wieder völlig aufhebbar. Während man früher allgemein das Narkotikum auf eine vor die Atemöffnungen gehaltene Maske auftropfte, wird dieses Verfahren heute nur noch selten verwendet. Insbesondere für langdauernde Narkosen bei großen chirurgischen Eingriffen verwendet man jetzt Apparate, die die Anwendung der meist gasförmigen Narkotika erleichtern und die Kontrolle der Körperfunktionen während der Operation sichern. Man verwendet eine kombinierte Narkose, bei der verschiedene Narkotika gleichzeitig angewandt werden; dadurch wird die Gefahr der Überdosierung geringer. Die Mischung der einzelnen Narkotika kann bei der Apparatnarkose mengenmäßig dosiert und konstant gehalten oder nach Belieben geändert und den jeweiligen Bedürfnissen angepaßt werden. Bei aller Mannigfaltigkeit liegt den heute meistverwendeten Narkoseapparaten ein gemeinsames System zugrunde. Der Atemstrom des Patienten legt im Gerät einen kreisförmigen Weg zurück, wobei die Richtung des Gasstromes durch Ventile gesteuert und das Gasvolumen in Durchflußmessern eingestellt werden kann. Diese Durchflußmesser bestehen aus einem Glasrohr, durch das von unten ein kontinuierlicher Gasstrom fließt. Auf diesem Gasstrom schwimmt sozusagen ein kegelförmiges Gewicht, das durch den zwischen Kegel und Glasrohr vorbeifließenden Gasstrom in Drehung versetzt wird. Bei stärkerem Öffnen des Gashahnes steigt der Kegel höher, bei geringerer Durchflußmenge sinkt er. In das Kreissystem des Atemstromes sind weiter eingeschaltet: ein Atembeutel, der die Atembewegungen und deren Frequenz anzeigt, durch dessen Kompression ferner die Einatmung intensiviert werden kann, eine Zufuhrmöglichkeit für frische Atemluft, ein Verdampfer für flüssige Inhalationsnarkotika (z. B. Äther oder Halothan) und schließlich eine Patrone mit einem Adsorber für das Kohlendioxid der Atemluft. Je nachdem, ob die Atemluft ins Freie entweicht oder in das Schlauchsystem rückgeatmet wird, spricht man von offenen, halboffenen, halbgeschlossenen oder geschlossenen Systemen.

Das Gasgemisch füllt die Lungen entweder über eine Narkosemaske oder durch einen in die Luftröhre des narkotisierten Patienten eingeführten Schlauch. Im Gasstrom zirkulieren die Atemluft des Patienten, Kohlendioxid und Sauerstoff, als Narkotika Stickstoffoxydul, wahlweise vermischt mit dem Dampf eines flüssigen Inhalationsnarkotikums. Durch die Injektion eines gelösten Narkotikums in eine Vene wird die Narkose eingeleitet und auf eine bestimmte Tiefe gebracht.

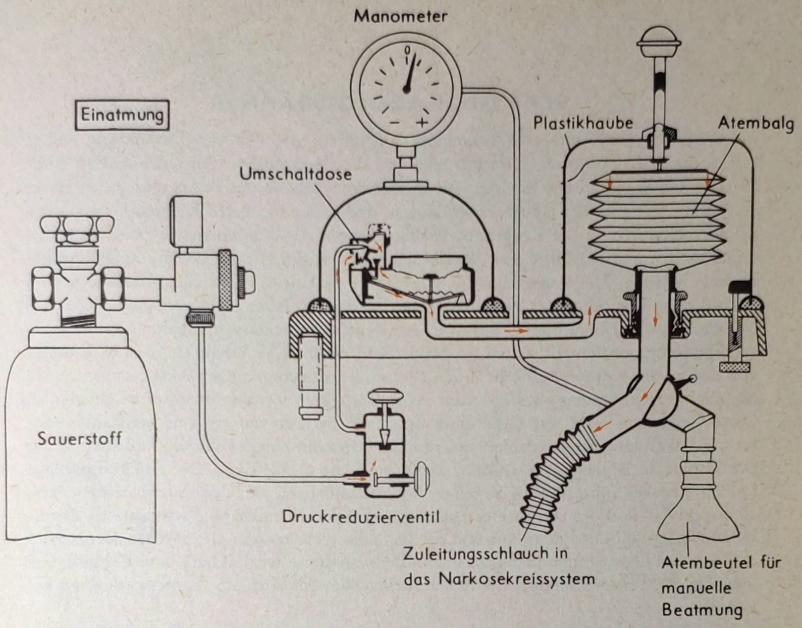

Einatmung
Verdampfer
Ausatemventil
Absorber
Gasgemischzufuhr in das Kreissystem
Rückatmungsschlauch
Überdruckventil
Einatem-ventil
Einatemschlauch
Atembeutel
Lunge
O_2
(Sauerstoff)
N_2O
(Stickstoffoxydul)

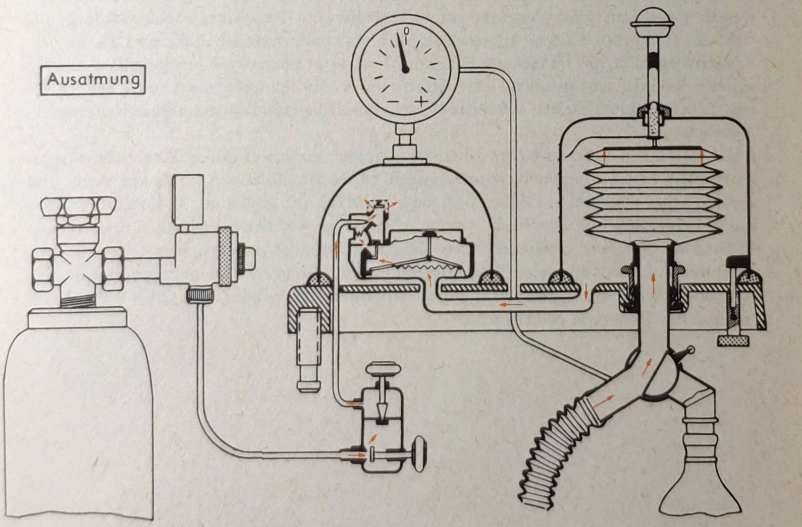

Ausatmung
O_2
N_2O

AUTOMATISCHER BEATMUNGSAPPARAT (PULMOMAT)

Für die Wiederbelebung nach einem Unfall ist die Tatsache von Bedeutung, daß die Herztätigkeit gewöhnlich länger intakt bleibt als die Lungentätigkeit. In dieser Zeit kommt es darauf an, die Arbeit des Zwerchfells und der Muskulatur des Brustkorbes durch einen künstlichen Atemmechanismus zu ersetzen. Schon seit mehreren Jahrzehnten gibt es dafür ein Gerät, das Luft unter Druck in die Lungen einbläst, sich nach Erreichen eines bestimmten Druckwertes automatisch auf Saugen umschaltet und damit die Ausatmung bewirkt (*Pulmotor* der Fa. Dräger). Dieser Apparat arbeitet mit einer Atemmaske, die auf das Gesicht aufgesetzt wird. Direkt auf dieser Atemmaske sitzt die Umschaltdose, die die Richtung des Sauerstoffstromes ändert. An eine Sauerstoffflasche können mehrere Masken angeschlossen werden, was für Katastrophenfälle von Bedeutung ist.

Im Gegensatz zur Behandlung in der Ersten Hilfe verwendet man in der Klinik eine automatische Beatmung in Kombination mit einem Narkoseapparat (s. S. 556) und nur nach vorheriger Einführung eines Intubationskatheters mit aufblasbarer Abdichtmanschette in die Atemwege. Die Gesichtsmaske fällt dadurch weg. Für diese Beatmung von narkotisierten Patienten, deren Eigenatmung mittels kurareartiger Mittel ausgeschaltet ist, wurde z. B. der *Pulmomat* der Fa. Dräger geschaffen. Es handelt sich hierbei um einen druckgesteuerten Apparat im Gegensatz zu anderen, die frequenzgesteuert sind. Der automatische Beatmungsvorgang besteht darin, daß der Pulmomat in der Einatmungsphase eine bestimmte, von 100–1000 cm^3 einstellbare Gasmenge in die Lungen des Patienten drückt und in der Ausatmungsphase die gleiche Gasmenge mit geringem Unterdruck wieder absaugt. Kernstück der Apparatur ist die Umsteuervorrichtung, die so eingestellt wird, daß in der Lunge ein bestimmter Über- und Unterdruck nicht überschritten werden. Die Beatmungsfrequenz kann zwischen 8 und 30 Atemzügen in der Minute stufenlos eingestellt und auch während der Beatmung variiert werden. Zum Antrieb dient hochgespannter Sauerstoff (oder Preßluft). Der Gasstrom kommt aus der Sauerstoffflasche, strömt durch ein Druckreduzierventil und geht durch die mit einem Druckmesser versehene Umsteuervorrichtung zum Patienten.


Manometer
Einatmung
Plastikhaube
Atembalg
Umschaltdose
Sauerstoff
Druckreduzierventil
Zuleitungsschlauch in
das Narkosekreissystem
Atembeutel für
manuelle
Beatmung


Ausatmung

ELEKTROKARDIOGRAPHIE

Jeder Muskel kann nur eine Bewegung ausführen, nämlich die Verkürzung seiner Fasern durch Kontraktion. Dies gilt auch für den Herzmuskel. Bei jeder Aktion eines Muskels treten elektrische Ströme auf, die sich im Verlaufe der Bewegung (beim Herzmuskel im Verlaufe der Kontraktion) ändern und durch die verschiedenen Gewebe des Körpers hindurch an die Körperoberfläche gelangen. Dort können sie von Elektroden abgenommen und mit Hilfe eines Registrierapparates, des Elektrokardiographen, aufgezeichnet werden. Die Aufzeichnung in Form einer Kurve heißt Elektrokardiogramm (EKG). Das ursprüngliche Verfahren benutzte das im Jahre 1903 von dem niederländischen Physiologen Willem Einthoven entwickelte Saitengalvanometer (Abb. 1). Eine versilberte Quarzsaite wird durch ein Magnetfeld geführt; sie erhält elektrische Impulse von den an der Körperoberfläche durch Elektroden abgenommenen Aktionsströmen. Je nach der Stromrichtung wird die Saite in Abhängigkeit von der Stromstärke abgelenkt. Diese Bewegung wird mit Hilfe eines optischen Systems auf ein mit konstanter Geschwindigkeit abrollendes Papierband projiziert, das mit einem lichtempfindlichen Belag beschichtet ist. Ist das Gerät stromlos, ergibt sich eine gerade Linie. Der Erregungsablauf im Herzmuskel führt jedoch zu einer Potentialdifferenz, weil der nicht erregte Teil elektropositiv und der erregte elektronegativ ist. Die Aktionsströme zeichnen als Resultierende eine typische Kurve, die von der Lage des Herzens (der elektrischen Herzachse) und von der Leitung innerhalb des Herzmuskels bestimmt wird. Krankhafte Veränderungen, die diese beiden Faktoren betreffen, geben sich demnach im Kurvenverlauf zu erkennen.

Für den praktischen Gebrauch ist das Saitengalvanometer heute verschwunden. Man verwendet jetzt den mit Verstärkerröhren arbeitenden Verstärker-Elektrokardiograph (Abb. 2). Die vom Körper abgeleiteten Aktionsströme treten bei E_1 und E_2 in den Röhrenverstärker, wo sie mehrere tausendmal verstärkt und auf ein Spiegelgalvanometer geleitet werden. Entsprechend den Ablenkungen des Spiegelsystems wird ein Lichtstrahl am Spiegel reflektiert, auf einem lichtempfindlichen Film entsteht die entsprechende Aufzeichnung.

Die Ableitungen von der Körperoberfläche werden an schon durch Einthoven vorgeschlagenen Standardpunkten vorgenommen (Abb. 3); Ableitung 1: linker Arm und rechter Arm; Ableitung 2: linkes Bein und rechter Arm; Ableitung 3: linkes Bein und linker Arm. Dazu kommen heute weitere Ableitungen von den Gliedmaßen und von der Brustwand. Moderne Geräte zeichnen diese Kurven nicht mehr nacheinander, sondern synchron auf. Das normale Elektrodiagramm hat die in Abb. 4 gezeigte Form: Der Kurventeil von P bis Q entspricht der Kontraktion der Vorhöfe, von Q bis T der Kontraktion der Kammern des Herzens.

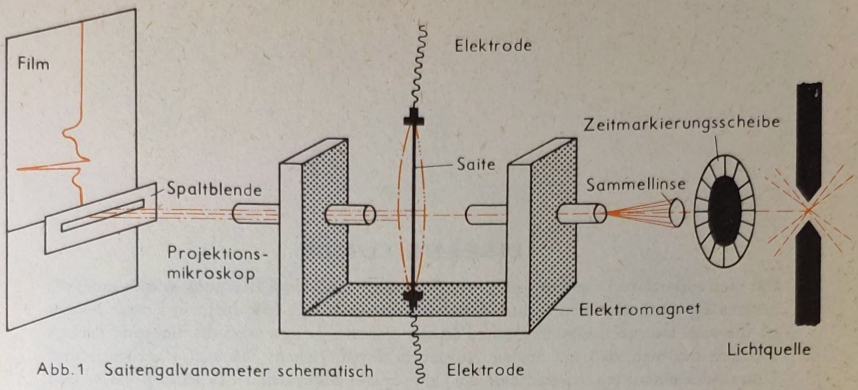


Abb. 1 Saitengalvanometer schematisch

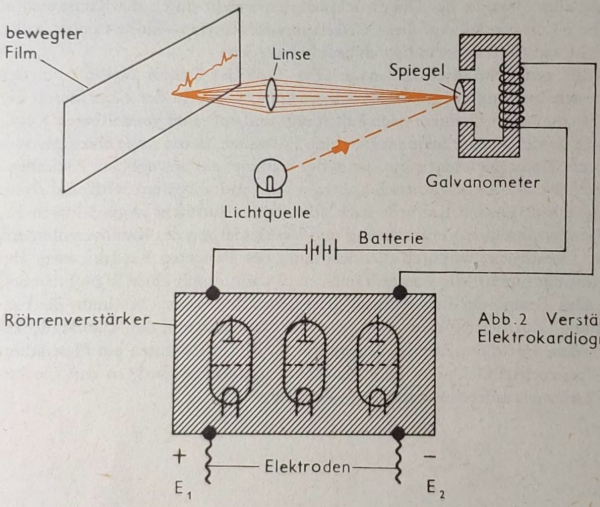


Abb. 2 Verstärker-Elektrokardiograph

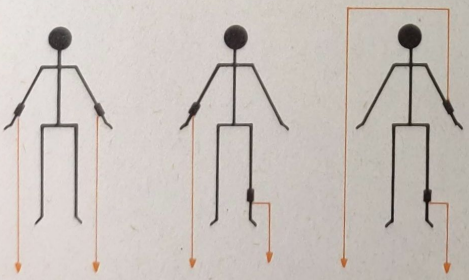


Abb. 3 Standardableitungen (nach Einthoven)

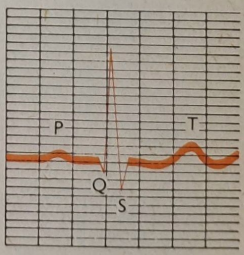
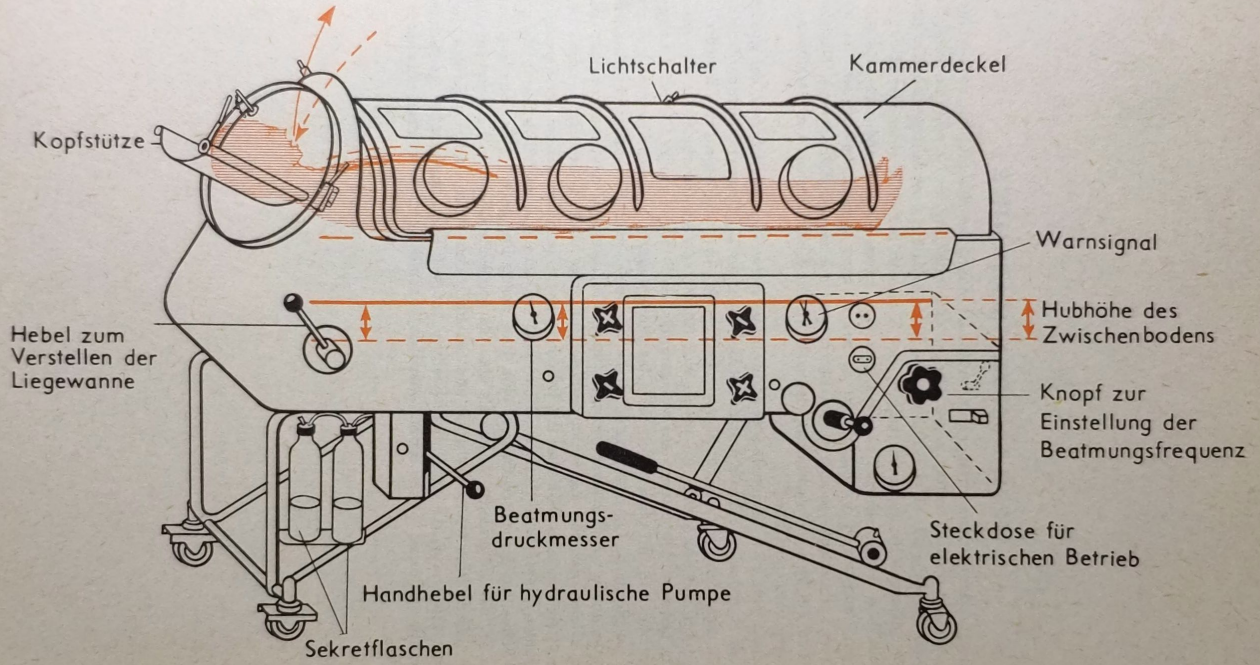


Abb. 4 Normalelektrokardiogramm

EISERNE LUNGE

Für eine apparative Beatmung auf lange Zeit, wie sie bei einer Lähmung des Zwerchfells notwendig wird, kommen Pulmotor oder Pulmomat (s. S. 558) nicht in Frage. Hierzu ist die sog. eiserne Lunge vonnöten. In der eisernen Lunge wird der liegende Patient dadurch beatmet, daß auf seinen Körper in rhythmischem Wechsel Überdruck und Unterdruck einwirken. In der Phase des Unterdrucks dehnt sich der Brustkorb aus, so daß in die Lunge Luft einströmt. In der Überdruckphase entweicht durch die Kompression des Brustkorbs diese Luft wieder. Auf diese Weise kann der Patient — sollte es notwendig sein — auch über Monate und Jahre künstlich beatmet werden.

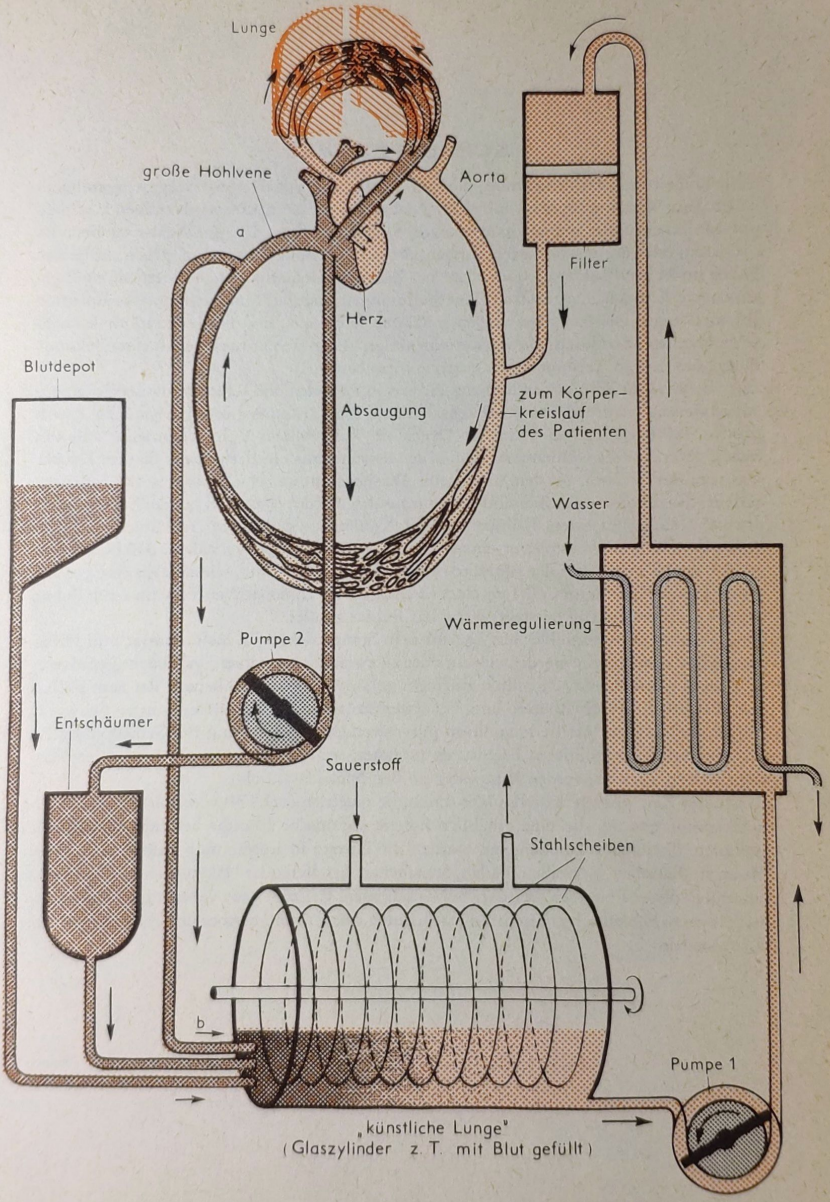
Bei der in der Abb. gezeigten eisernen Lunge (Typ E 52 der Dräger-Werke) ruht der Körper auf einer schaumgummigepolsterten Liegewanne, während der Kopf durch die Öffnung an der Stirnseite der Kammer nach außen ragt und auf einer verstellbaren Kopfstütze ruht. Am Ende der Wanne befindet sich eine Fußstütze, deren Lage ebenfalls verändert werden kann. Unter der Liegewanne ist in der Kammer ein beweglicher Zwischenboden angeordnet, der von einem Antriebsaggregat auf- und abbewegt wird und dabei wie ein Blasebalg wirkt. Da die Kammer nach allen Seiten luftdicht abgeschlossen ist, entsteht durch die abwechselnde Vergrößerung und Verkleinerung des Kammervolumens Unterdruck bzw. Überdruck, wodurch die Beatmung des Patienten bewirkt wird. Bei Stromausfall ertönt ein Signal; die eiserne Lunge muß dann durch einen Hebel manuell bedient werden. Das Tempo der Bewegungen dieses Zwischenbodens bestimmt die Frequenz der Beatmung. Zur Durchführung von Handreichungen kann der Kammerdeckel hochgeklappt werden. Für diese Zeit wird über den Kopf des Patienten ein Plastikdom gestülpt, in dem abwechselnd Unter- und Überdruck geschaffen wird, so daß die Beatmung über die Luftwege aufrechterhalten werden kann.


Lichtschalter
Kammerdeckel
Kopfstütze
Warnsignal
Hubhöhe des Zwischenbodens
Hebel zum Verstellen der Liegewanne
Knopf zur Einstellung der Beatmungsfrequenz
Beatmungs-druckmesser
Steckdose für elektrischen Betrieb
Handhebel für hydraulische Pumpe
Sekretflaschen

HERZ-LUNGEN-MASCHINE

Die Chirurgie des Herzens verlangt zumeist eine Eröffnung des Herzmuskels, so daß unter Sicht des Auges operiert werden kann. Für kurzdauernde Eingriffe hat man die Möglichkeit, unter Hypothermie (Unterkühlung) die Blutzirkulation ganz aufzuheben. Größere Eingriffe verlangen die Aufrechterhaltung des Kreislaufs mit Hilfe einer Herz-Lungen-Maschine. Die verschiedenen Systeme haben zum einen die Aufgabe, das Ersatzblut durch ein Pumpenwerk in Zirkulation zu halten, zum anderen müssen sie das aus dem Körper kommende sauerstoffarme Blut wieder mit Sauerstoff anreichern. Nachstehend wird ein System beschrieben, das u. a. an der Chirurgischen Universitätsklinik Heidelberg verwendet wird.

Das venöse Blut wird, unmittelbar bevor es in das rechte Herz einfließt, aus der großen Hohlvene abgezweigt und in Kunststoffschläuche geleitet (a). Dieses sauerstoffarme Blut wird nunmehr einer künstlichen Lunge zugeführt (b). In einem liegenden Glaszylinder, der zum Teil mit Blut gefüllt ist, rotiert eine Anzahl von Stahlscheiben, die sich dabei mit Blut benetzen. Dieses nunmehr zu einem dünnen Film mit großer Oberfläche angeordnete Blut wird im oberen Teil des Glaszylinders einem Sauerstoffstrom ausgesetzt. Durch Ausgleich der Gasspannung durch die Wände der roten Blutkörperchen hindurch findet nun, genau wie in der menschlichen Lunge, die Aufnahme von Sauerstoff statt. Die Pumpe 1 leitet das nun sauerstoffgesättigte Blut über einen Wärmeregler und einen Filter in den arteriellen Kreislauf des Patienten. Dem Ausgleich der bei der Operation auftretenden Blutverluste dient ein Blutdepot, aus dem Blut nachfließt, wenn ein gewisser Schwellenwert unterschritten wird. Eine zweite Pumpe saugt das Blut aus dem Herzen ab, das auf anderen Wegen als über die große Hohlvene in die Herzkammern gelangt. Dieses Blut wird entschäumt und gleichfalls dem Glaszylinder zugeführt. Alle Teile der Apparatur, die vor Inbetriebnahme mit 3–4 Liter ungerinnbar gemachtem Blut gefüllt wird, sind (bis auf die Stahlscheiben) innen durch Silikonisieren unbenetzbar gemacht.


Lunge
große Hohlvene
Aorta
a
Filter
Herz
Blutdepot
Absaugung
zum Körper-
kreislauf
des Patienten
Wasser
Wärmeregulierung
Pumpe 2
Entschäumer
Sauerstoff
Stahlscheiben
b
Pumpe 1
„künstliche Lunge"
(Glaszylinder z. T. mit Blut gefüllt)

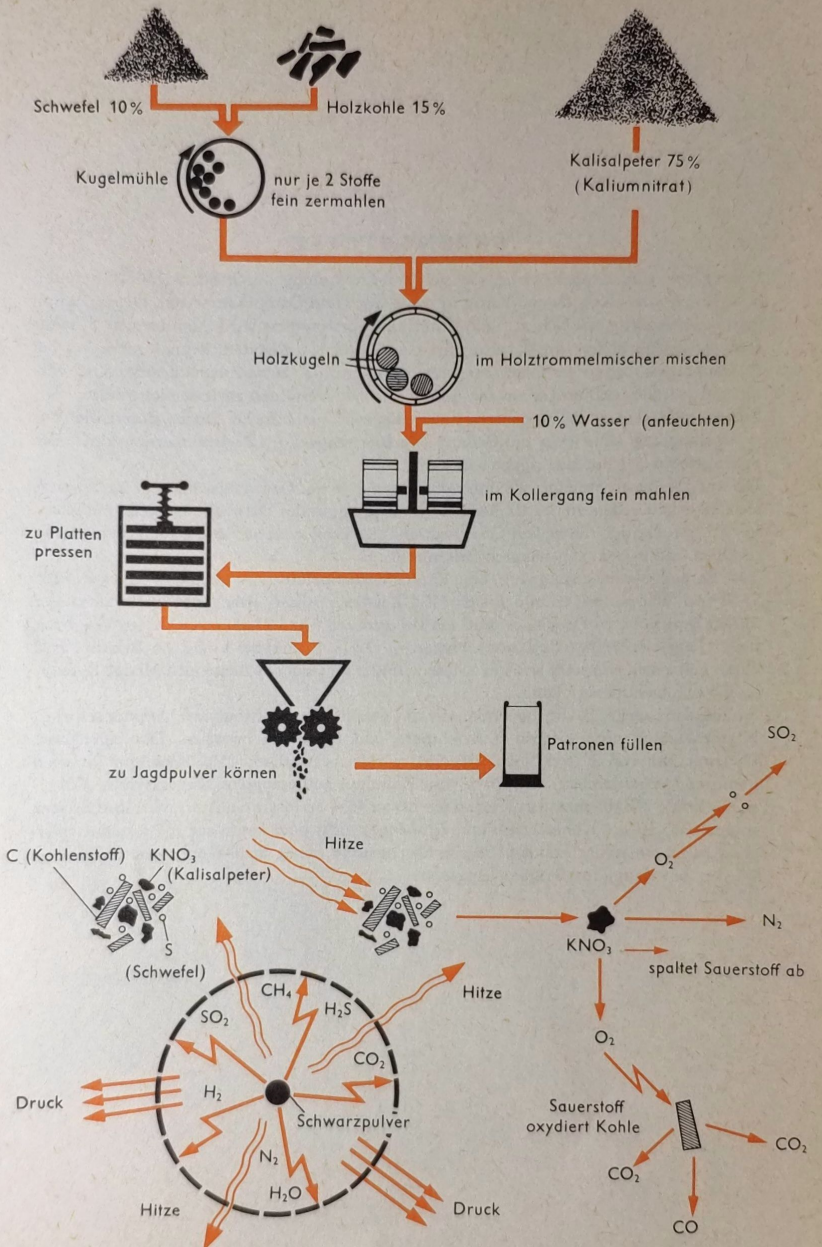
SCHIESSPULVER

Schießpulver sind Explosivstoffe, die eine relativ niedrige Detonationsgeschwindigkeit haben; ihre Wirkung bei der Explosion ist daher weniger zermalmend als treibend. Schießpulver sind entweder innige Gemische von Stoffen, die unter Energieabgabe miteinander reagieren, oder chemische Verbindungen, die beim Zerfallen Energie abgeben. In beiden Fällen findet die Reaktion jedoch nicht bei Zimmertemperatur statt, sondern sie muß gezündet werden, d.h., man muß an einer Stelle einmal Energie zuführen, damit die Reaktion ablaufen kann. Die dabei freiwerdende Wärme reicht aus, um die Reaktion an benachbarten Stellen auszulösen. Diese „Kettenreaktion" kann sich in Bruchteilen einer Sekunde durch den ganzen Treibsatz einer Patrone fortpflanzen.

Entscheidend für die Verwendung des Pulvers in Patronen und Raketen ist eine Volumenvergrößerung während des Reaktionsablaufes. Die Reaktionsprodukte sind zu einem großen Teil Gase, die bei normalem Druck ein viel größeres Volumen ausfüllen als das feste Pulver. Im abgeschlossenen Raum der Patrone entsteht deshalb ein starker Druckstoß, der das Geschoß aus dem Lauf treibt. Das bekannteste Schießpulver ist das Schwarzpulver, das schon vor fast tausend Jahren erfunden wurde; es zerfällt bei der Explosion in etwa 45% Gase (Stickstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid) und 55% rauchförmige Salze. Aus einem Kilo Schwarzpulver entstehen in Sekundenbruchteilen nahezu 300 l Gase und rd. 670 kcal Wärme. Auf der Bildseite ist links unten angedeutet, wieviel Gas (im großen gestrichelten Kreis dargestellt) aus einer kleinen Menge Schießpulver (im schwarzen Punkt vereint) explosionsartig entsteht, wenn das Pulver zündet.

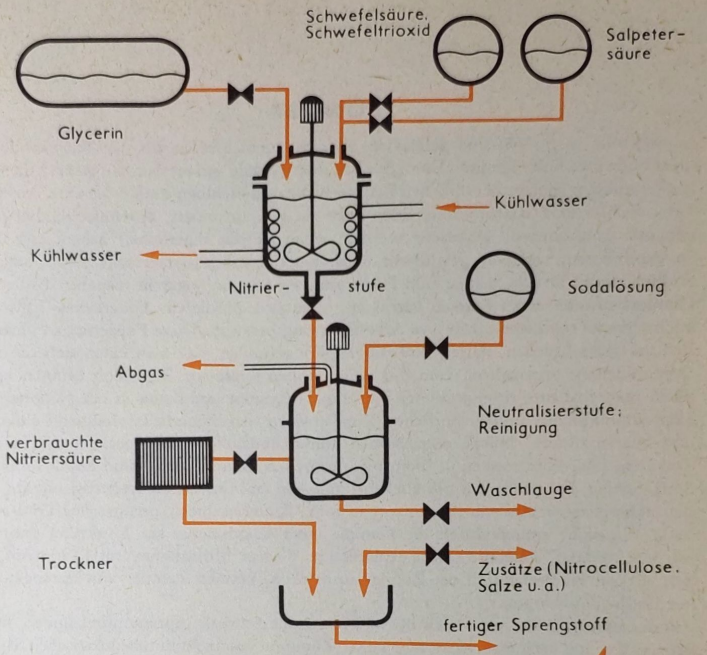
Man gewinnt Schwarzpulver aus gemahlenem Stangenschwefel, Kaliumnitrat und Holzkohle. Die Bestandteile werden einzeln oder zu zweit fein gemahlen und feucht gepulvert, zu Platten gepreßt und schließlich zu einem gekörnten Gries zerkleinert, der zum Füllen von Patronen, Zündschnüren und Feuerwerkskörpern dient; früher wurde Schwarzpulver auch bei der Artilleriemunition mitverwendet. Der Umgang mit Schießpulver ist nur den dafür ausgebildeten Fachleuten gestattet, weil der Unerfahrene trotz aller Vorsicht schwer verletzt werden kann oder großen Schaden anrichtet.

In neuerer Zeit werden Schießpulver durch die rauchschwache Nitrocellulose oder durch Stärkenitrat ersetzt, die eine erheblich höhere spezifische Energie besitzen. Um daraus geeignete Treibstoffe zu erzeugen, werden die Nitrate in Lösemitteln gelöst, als teigige Masse zu Blättchen, Röhrchen, Fäden, Scheibchen, Streifen oder Haken verformt, getrocknet und in dieser Form als Treibsatz bei Geschossen, Raketen usw. verwendet. Gegenüber ungekörnten Schießpulvern haben die gekörnten den Vorteil, rascher und rauchschwächer abzubrennen.

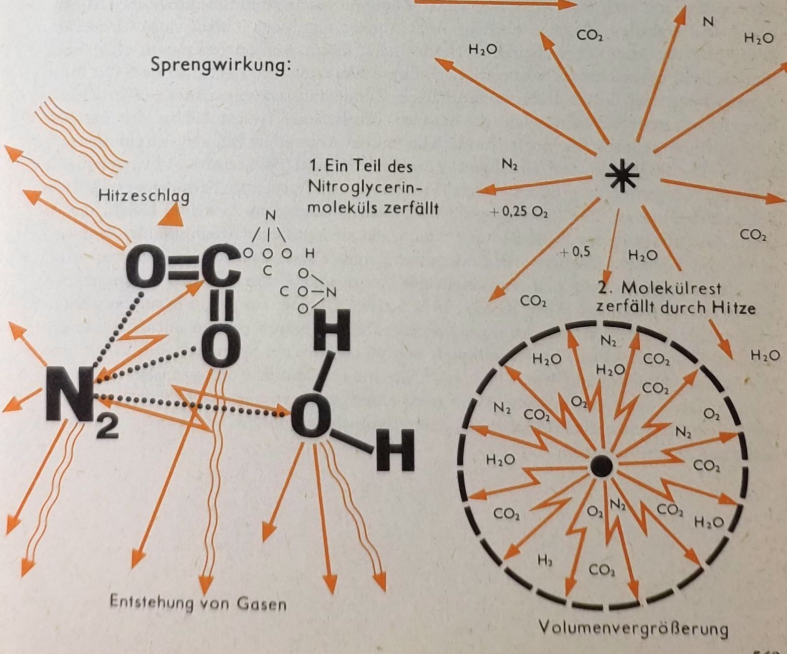

Schwefel 10 %
Holzkohle 15 %
Kugelmühle
nur je 2 Stoffe fein zermahlen
Kalisalpeter 75 % (Kaliumnitrat)
Holzkugeln
im Holztrommelmischer mischen
10 % Wasser (anfeuchten)
im Kollergang fein mahlen
zu Platten pressen
zu Jagdpulver körnen
Patronen füllen
C (Kohlenstoff)
KNO3 (Kalisalpeter)
S (Schwefel)
Hitze
CH4
H2S
SO2
CO2
H2
N2
H2O
Schwarzpulver
Druck
Hitze
Druck
KNO3
O2
SO2
N2
spaltet Sauerstoff ab
Sauerstoff oxydiert Kohle
CO2
CO

SPRENGSTOFFE

Sprengstoffe sind Explosivstoffe, die sich bei Erwärmung durch Schlag, Stoß, Reibung oder Entzünden plötzlich und heftig in heiße Gase und Dämpfe zersetzen. Dieser Zerfall geht so schlagartig vor sich, daß die Umgebung zertrümmert wird. Man benutzt Sprengstoffe in Steinbrüchen, im Bergbau, bei Haus- und Kanalbauten, beim Roden und bei Aufräumungsarbeiten, d.h. immer dann, wenn großes, zusammenhängendes Gut zerkleinert werden muß und wenn dies durch normale Verfahren zu kostspielig wäre.
Sprengstoffe sind innige Gemische oder chemisch einheitliche Stoffe; durch die Zusammensetzung kann man die Brisanz (Zerbrechungskraft, Zertrümmerungskraft) des Sprengstoffes der Sprengaufgabe anpassen.
Die verschiedenen Sprengstoffe unterscheiden sich in der Gasmenge, die pro kg Sprengstoff erzeugt werden, in der Explosionswärme je kg, in der Detonationsgeschwindigkeit, in dem Druck, den die heißen Gase während der Explosion auf ihre direkte Umgebung ausüben und in dem sogenannten Brisanzwert.
1 kg Sprenggelatine erzeugt z.B. eine Explosionstemperatur von über 4700°C, es werden 1550 kcal Wärme frei, es bilden sich 712 l Zersetzungsgase, dabei entwickeln sich über 13000 Atmosphären Druck, es wird ein Brisanzwert von 160000 erreicht. Im Vergleich damit liegt der Brisanzwert von Schwarzpulver (s. S. 566) bei 1350; die Brisanz wird daran gemessen, wie stark sich ein Kupferzylinder von einer aufliegenden Menge Sprengstoff zusammendrücken läßt.
Sprengstoffe sind z.B. die Dynamite, die aus gelatiniertem Nitroglykol, Ammonsalpeter, Natronsalpeter, aromatischen Nitrokörpern und Holzmehl bestehen. Das eigentliche Dynamit, das von Alfred Nobel erfunden wurde, bestand aus 25% Kieselgur (Schalen kleinster Meerestierchen) und 75% vom Kieselgur aufgesaugtem Nitroglycerin (Glycerintrinitrat). Mischt man den Dynamiten bis zu 40% Steinsalz zu, dann wird ihre Brisanz so gesenkt, daß sie Kohlenstaub und Grubengas nicht oder kaum zur Entzündung bringen, wenn sie selbst zünden. Solche Sprengstoffe nennt man Wettersprengstoffe; sie werden bevorzugt im Bergbau eingesetzt.



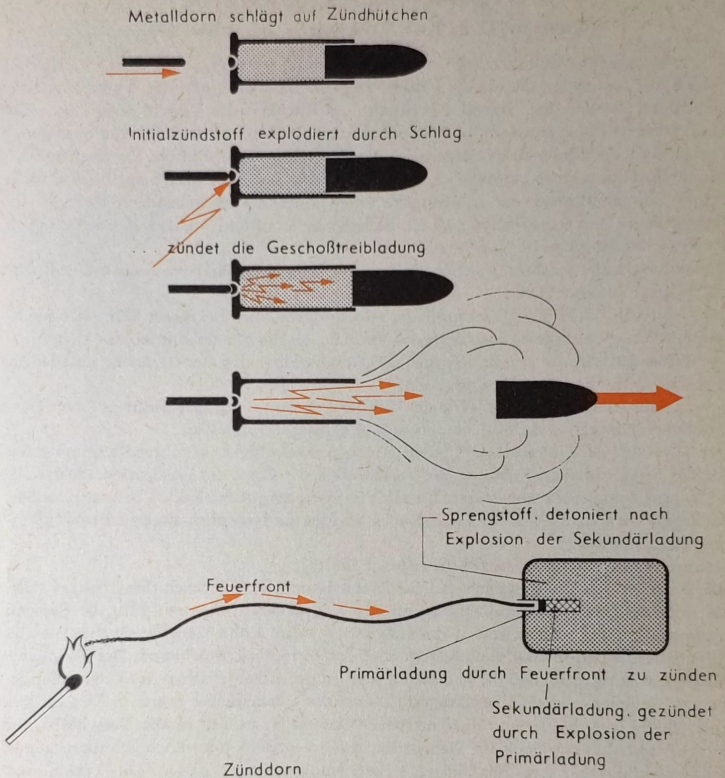
Sprengwirkung:

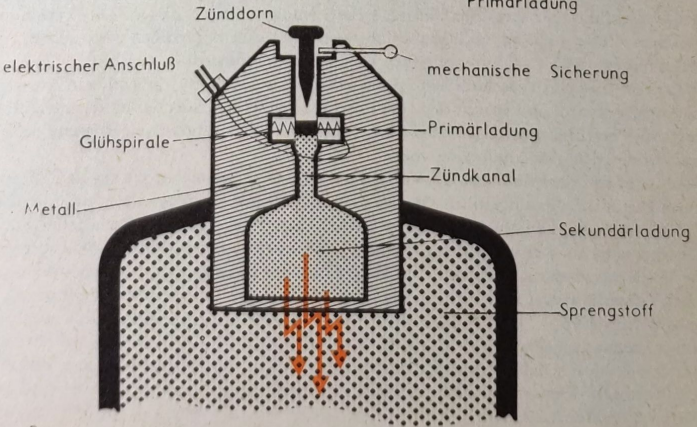


ZÜNDER

Sprengstoffe (s. S. 568) sind gefährlich, aber trotzdem müssen wir mit ihnen umgehen, denn ohne ihre Hilfe könnten kaum Straßen oder Kanäle genaut werden, wenn z. B. felsiger Grund den Einsatz der üblichen Erdbearbeitungsmaschinen stark erschwert. Auch die Erz-, Kohle- und Salzförderung wäre ohne sie sehr behindert. Sprengstoffe aber können nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn sie die Eigenschaft haben, erst dann zu explodieren, wenn es gewünscht wird. Sie müssen also einerseits stabil, unempfindlich gegen Druck, Schlag und Hitze sein, sie müssen sogar in manchen Fällen ein Flämmchen oder einen Funken vertragen, ohne zu explodieren. Andererseits sollen sie hochwirksam sein, wenn man ihre Arbeitsleistung benötigt. Diese Forderungen scheinen sich zu widersprechen. Alfred Nobel hat 1867 gefunden, daß man einen sicheren (unempfindlichen) Sprengstoff dann mit seiner vollen Kraft zur Explosion bringen kann, wenn man eine nur geringe Menge eines hochbrisanten und damit in der Handhabung sehr empfindlichen und gefährlichen Zündstoffs in den Sicherheitssprengstoff einlagert und zuerst zündet. Solche sogenannten Initialzündstoffe (Knallquecksilber, Bleiazid, Tetrazen, Diazodinitrophenol, Bleitrinitroresorcinat, Sinoxid u. ä.) sind durch Reibung, Stoß, Schlag, Erhitzung zur plötzlichen Explosion zu bringen, die so heftig auftritt, daß die Sicherheitssprengstoffe (Wettersprengstoffe, Ammonsalpetersprengstoffe, Trinitrotoluol), die nicht einmal durch die Flamme einer Zündschnur zur Explosion gebracht werden könnten, ebenfalls heftig explodieren. Wenige Milligramm Initialzündstoff, die den wirksamen Bestandteil der Zünder ausmachen, können Zentner von Sprengstoffen zur Explosion bringen.

Zünder unterscheidet man nach ihrem Verwendungszweck (Sprengmittelzünder, Bombenzünder) und nach ihrer Wirkungsweise (Zündung geschieht durch elektrischen Strom, durch Bolzenschlag, durch Aufschlag, nach Annäherung, nach Ablauf eines Uhrwerkes [Zeitzünder]). Man unterscheidet sie ferner nach ihrem Aufbau (chemisch, elektrisch, mechanisch, pyrotechnisch wirkend), nach ihrem Werkstoff, der Lage oder dem Ort ihrer Anwendung, nach Größe und Empfindlichkeit. Zünder müssen wegen ihrer Gefährlichkeit ein oder mehrere Sicherungselemente besitzen. Ein Beispiel für den Aufbau des Zünders gibt die Sprengkapsel: In einer Hülse aus Kupfer oder Aluminium befindet sich eine geringe Menge (15–100 Milligramm) Knallquecksilber bzw. Bleiazid (Primärladung). Daran schließt sich eine mengenmäßig größere Schicht Trinitrotoluol, Tetryl oder Nitropentaerythrit als Sekundärladung an. Die Sprengkapsel kann einen elektrischen Anschluß haben, der in einem Glühdraht in der Primärladung endet, oder sie kann eine Anschlußhülse besitzen, in die mit höchster Vorsicht das Ende einer Spreng- bzw. Zündschnur gesteckt wird. Die Zündschnur besteht z. B. aus einem mit Fasern und Kunststoffolien umsponnenen Strang aus Sprengmehl (70% KNO_3, 14% S, 16% C) bzw. aus einem Strang aus hochwirksamem Sprengstoff. Bei der normalen Zündschnur brennt das am offenen Ende gezündete Feuer mit einer Geschwindigkeit von 60 cm/min ab. Sprengschnüre haben eine Abbrenngeschwindigkeit von 7000 m/s. Sie müssen durch Sprengkapseln gezündet werden. Die Feuerfront erreicht damit nach einer genau vorausberechenbaren Zeit die Sprengkapsel, zündet die Primärladung, deren Explosionswelle zündet die Sekundärladung und diese den Sprengstoff.





Prinzip eines elektrisch oder mechanisch betätigten Zünders

AUTOMATISCHES GEWEHR
(Gewehr G 3, Kal. 7,62 mm × 51 [NATO])

Eine automatische Waffe vermag Geschosse in schneller Folge zu verschießen. Hierbei werden alle Vorgänge, die für die Funktion erforderlich sind, von der Waffe selbsttätig ausgeführt: Zünden der Patrone, Entriegeln und Rücklauf des Verschlusses, Ausziehen und Auswerfen der Patronenhülse, Spannen des Hahnes, Umkehr der Verschlußbewegung, Vorlauf und Verriegeln des Verschlusses, Einführen der Patrone in das Patronenlager.

Für die Funktion einer automatischen Waffe ist, wie bei jeder Maschine, Energie notwendig. Die im Moment der Schußabgabe unter hohem Druck stehenden Pulvergase im Patronenlager und Rohr bieten sich als Energiequelle an und werden für den Antrieb des Verschlusses teilweise eingesetzt.

Man unterscheidet bei automatischen Waffen zwei Arten von Funktionssystemen: 1. Rückstoßlader, 2. Gasdrucklader.

Das G 3 (Abb. 1) wird als Rückstoßlader angesprochen, weil bei dieser Waffe der Rückstoß der Patrone auf die Vorderfläche des Verschlusses direkt zum Antrieb des Verschlusses verwendet wird, d. h., die Energie wirkt unmittelbar und ohne Umweg auf den in gleicher Ebene liegenden Verschluß ein.

Beim Gasdrucklader dagegen wird ein Teil der Pulvergase aus dem Rohr in einen Gaszylinder abgezweigt und treibt über einen Kolben den Verschluß an.

Der *Verschluß* des Gewehres G 3 erhält seinen Antrieb direkt in axialer Richtung nach Art der Rückstoßlader. Dabei ist der Verschluß in der Phase des Gasdruckes nicht starr im Verriegelungsstück abgestützt. Da als Verriegelungsglieder Rollen benutzt werden, bezeichnet man das Gewehr G 3 als „Rückstoßlader mit beweglich abgestütztem Rollenverschluß, halbstarr".

Vorgang in der Waffe beim Schuß (Abb. 2 und 3):

Die Waffe ist geladen, gespannt und entsichert. Durch Zurückziehen des Abzuges wird der gespannte Hahn frei und schlägt auf den Schlagbolzen; dadurch wird die Patrone gezündet. Die Pulvergase treiben das Geschoß aus dem Rohr. Gleichzeitig drücken die Pulvergase die Patronenhülse und damit auch den Verschluß nach hinten. Der Druck der Pulvergase ist so groß, daß die Verschlußrollen an den Abstützflächen des Verriegelungsstückes abgleiten und auf die schrägen Flächen des Steuerstückes drücken. Das Steuerstück gleitet nach hinten und die Verschlußrollen treten so weit in den Verschlußkopf, bis der Verschluß entriegelt ist. Dabei stößt das Steuerstück mit seinen Schultern gegen den Verschlußträger und gibt ihm eine Beschleunigung nach hinten. Die Verbindung zwischen Verschlußkopf und Verschlußträger über den Sperrhebel wird gelöst, Verschlußträger und Verschlußkopf gehen weiter gemeinsam zurück.

Der zurücklaufende Verschluß hält mit dem Auszieher die Hülse, die von dem Auswerfer ausgeworfen wird, und spannt den Hahn und die Schließfeder. In der hintersten Stellung läuft der Verschluß gegen den Puffer und wird dort abgebremst. Die gespannte Schließfeder bringt den Verschluß nach vorn.

Dabei wird mit der Stirnfläche des Verschlußkopfes die oberste Patrone aus dem Magazin in das Patronenlager eingeführt. Der Auszieher greift mit seiner Kralle in die Auszieherrille der Patrone. Die Verschlußrollen werden durch die schrägen Flächen des Steuerstückes wieder so weit nach außen gedrückt, bis sie sich im Verriegelungsstück abstützen. Die Waffe ist wieder schußbereit. Im Augenblick der Verriegelung verbindet der Sperrhebel Verschlußträger und Verschlußkopf (Trennung der Verschlußteile verhindert).

Bei der Einstellung „E" (= Einzelfeuer) muß der Hahn nach jedem Schuß durch den Abzug erneut ausgelöst werden. Bei der Einstellung „F" (= Feuerstoß) wird der Hahn über den Auslösehebel durch den Verschlußträger in der vordersten Stellung fortlaufend ausgelöst. Das Gewehr schießt so lange, wie der Abzug zurückgezogen wird und Patronen zugeführt werden.

Abb. 1 Automatisches Gewehr G 3 Kaliber 7,62 mm × 51 (NATO)

a) Gewehr geladen und verriegelt

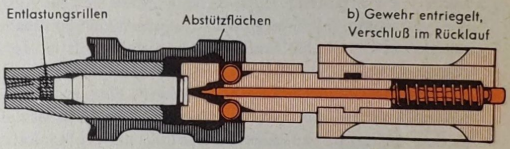
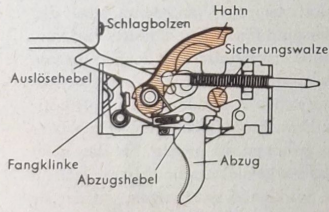
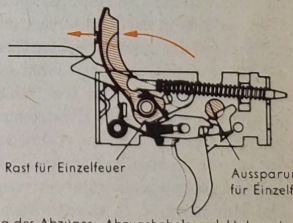


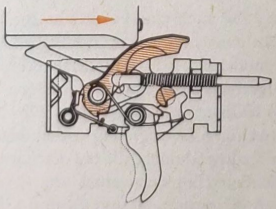
Abb. 2 Vorgang im Verschluß



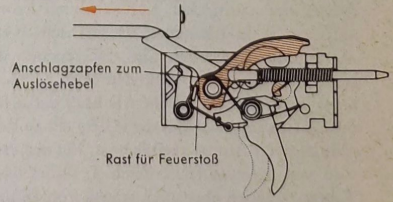
a) Abzug ist bis zum Druckpunkt zurückgezogen. Hahn- und Abzugshebelstellung kurz vor dem Auslösen des Einzelschusses



b) Stellung des Abzuges, Abzugshebels und Hahnes beim Auslösen des Einzelschusses



c) Nach dem Schuß (Rücklauf). Stellung des Hahnes und des Abzugshebels kurz vor dem Einrasten der Fangklinke. Abzugshebel tritt nur bei Einzelfeuer in Tätigkeit



d) Sicherungswalze steht auf „F" (Feuerstoß). Der Abzugsweg ist länger. Abzugshebel tritt außer Tätigkeit. Hahn wird nur noch über den Auslösehebel durch die Fangklinke ausgelöst

Abb. 3 Vorgänge in der Abzugseinrichtung

RADIOAKTIVITÄT

Unter radioaktivem Zerfall versteht man die natürliche Umwandlung von Elementen, wie sie zuerst am stufenweisen Zerfall von Radium zu Blei beobachtet wurde. Er geht unter Aussendung einer energiereichen Strahlung vor sich (Radioaktivität), die sich unter dem Einfluß eines Magnetfeldes in drei Komponenten, die α-Strahlung, β- und γ-Strahlung, aufspalten läßt (Abb. 1). Die α-Strahlung besteht aus doppelt positiv geladenen Kernen des Edelgases Helium (α-Teilchen), die β-Strahlung wird von negativ geladenen Elektronen gebildet; beide Strahlungen werden vom Magnetfeld nach verschiedenen Seiten abgelenkt. Die γ-Strahlung hingegen bleibt vom Magnetfeld unbeeinflußt, sie stellt eine elektromagnetische Wellenstrahlung extrem kleiner Wellenlänge ($\sim 10^{-12}$ cm) dar. Wegen ihrer hohen Energie sind alle drei Strahlungsarten in der Lage, eine photographische Platte zu schwärzen bzw. Gase zu ionisieren; sie lassen sich also mittels photographischer oder elektrischer Meßmethoden nachweisen. Ermittelt man die Energie der α-Teilchen in einem bestimmten Abstand vom Atomkern, so stellt man fest, daß sich letztere in einem Energieminimum innerhalb des Atomkernes im stabilen Gleichgewicht befinden, vergleichbar den Kugeln des Murmelspiels im Zielloch oder den Erbsen im Kochtopf.

Nach G. Gamow stellt man sich den radioaktiven Zerfall folgendermäßen vor: Man schematisiert einen radioaktiven Atomkern durch ein topfartiges Gebilde (Abb. 2). In diesem Topf befinden sich als Bausteine des Atomkernes α-Teilchen. Normalerweise können diese nur dadurch aus dem Topf heraus, daß sie über seinen Rand fliegen. Die α-Teilchen besitzen aber überdies Welleneigenschaften, die es ihnen (in beschränkter Zahl) ermöglichen, die Topfwandung zu durchdringen. Solche Teilchen bilden die α-Strahlung. Entsprechend erklärt sich das Auftreten der β-Strahlung, während die γ-Strahlung mit Energiezustandsänderungen innerhalb des Atomkerns in Verbindung mit den ersten beiden Strahlungsarten verknüpft ist. In Abb. 3 ist eine Apparatur zum Nachweis von α-Strahlen wiedergegeben, die nach ihren Erfindern als Geiger-Müllersches Zählrohr bezeichnet wird (Geigerzähler). Sie beruht auf dem elektrischen Nachweis der radioaktiven Strahlung durch Ionisation. Das Rohr ist mit einem verdünnten Gas gefüllt, in dem durch die radioaktive Strahlung ein Stoßionisationsprozeß eingeleitet wird, der zu einem kurzen Spannungsimpuls am Vorschaltwiderstand führt. Der Impuls wird verstärkt und dann der Zählvorrichtung zugeführt. Die hohe Empfindlichkeit des Zählrohres beruht auf der geometrischen Gestaltung seiner Elektroden. Die dünne, drahtförmige Anode (Pluspol) wird von einer großflächigen, zylindrischen Kathode (Minuspol) konzentrisch umgeben. Die Wahrscheinlichkeit, daß die beim Stoßionisationsvorgang freiwerdenden (negativen) Elektronen sofort zur Anode gelangen, ist gering. Sie fliegen in der Regel zunächst an ihr vorbei und werden durch das starke elektrische Feld der sich an der Anode zusammendrängenden Feldlinien auf eine Spiralbahn gezwungen, auf der sie noch zahlreiche Stoßionisationsvorgänge auslösen, ehe sie schließlich zur Anode gelangen. Die sehr harte, d. h. durchdringende γ-Strahlung dient in der Röntgenmedizin hauptsächlich Zwecken der Therapie.

Neben der natürlichen Radioaktivität kennt man seit 1934 auch eine künstliche Radioaktivität, d. h. Elemente, die auf dem Wege der künstlichen Atomumwandlung radioaktiv gemacht worden sind. Sie ergeben sich in der modernen Kerntechnik als Abfallprodukte beim Reaktorbetrieb (vgl. S. 84). Alle radioaktiven Erscheinungen klingen in einer bestimmten Zeit ab. Als Maß dafür hat man die Halbwertszeit eingeführt. Dies ist die Zeitspanne, nach der die Hälfte der zu Beginn der jeweiligen Zeitmessung vorhandenen radioaktiven Atome zerfallen ist. Bei den radioaktiven Spaltprodukten, die bei der Explosion von Kernwaffen entstehen, finden sich hauptsächlich Halbwertszeiten von 10–60 Tagen, daneben aber auch solche von 28 und 30 Jahren (Strontium 90 und Cäsium 137).

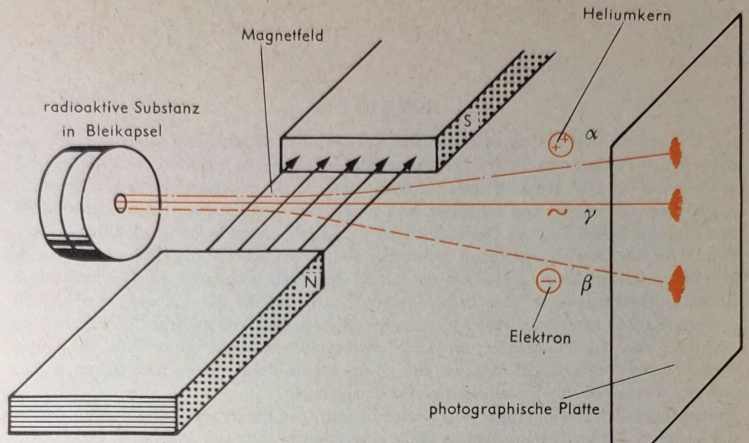


Abb. 1 Radioaktive Strahlung

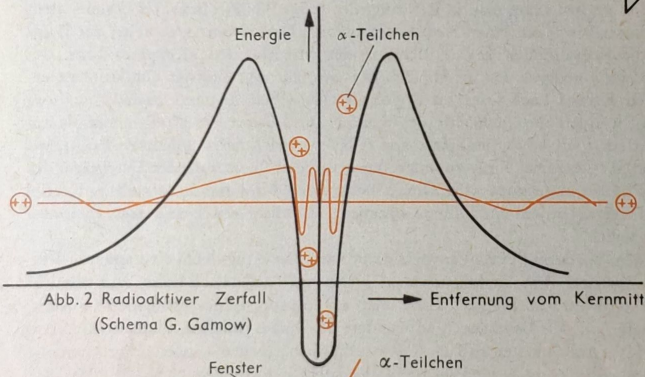


Abb. 2 Radioaktiver Zerfall
(Schema G. Gamow)

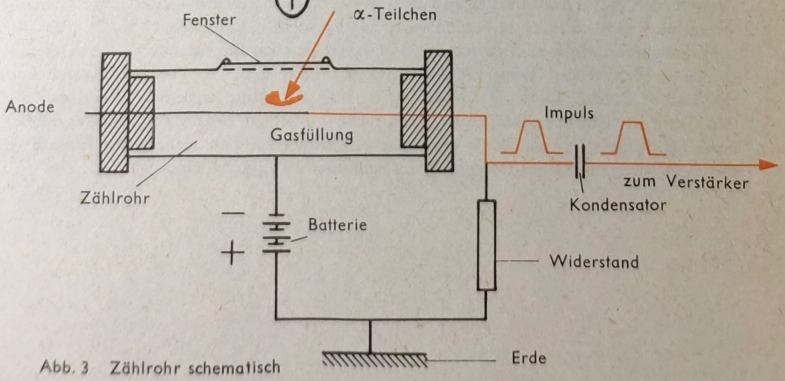


Abb. 3 Zählrohr schematisch

KREISEL

Ganz allgemein versteht man unter einem Kreisel einen beliebigen Körper, der sich um einen festen Punkt dreht. In der Technik werden jedoch meist nur rotationssymmetrische Körper, die um ihre Symmetrieachse drehen, als Kreisel verwendet. Jeder Kreisel weist einen Drall (N) auf, der von der Masse des Kreisels, dem Quadrat des Abstandes der einzelnen Massenteilchen von der Drehachse und von der Drehgeschwindigkeit abhängt. Zur Erhöhung des Dralles bildet man daher den Kreisel als Scheibe mit dickem Wulst aus. Die Besonderheit des Kreisels liegt darin, daß der Drall und damit die Drehachse ihre Richtung beibehalten, solange keine äußeren Kräfte auf den Kreisel einwirken. Einen solchen Kreisel kann man verwirklichen, wenn man den Kreiselkörper glockenförmig ausbildet und den Drehpunkt mit dem Schwerpunkt zusammenfallen läßt (Abb. 1a). Wegen seiner Tendenz, die Richtung der Drehachse im Raum konstant zu halten, eignet sich der Kreisel für die Stabilisierung von Bewegungen.

In den folgenden Abbildungen sind Kräfte als schwarze Pfeile, Drall und Drehmomente zur besseren Verdeutlichung als rote Pfeile eingezeichnet. Der rote Pfeil stellt gleichzeitig jeweils die Drehachse von Drall bzw. Moment dar, wobei sich eine Rechtsdrehung um diese Drehachse ergibt, wenn man in Richtung des roten Pfeiles blickt. Es besteht dann folgendes Gesetz: Wirkt auf einen Kreisel ein äußeres Drehmoment, so wird der Drall (und damit die Kreiseldrehachse) in Richtung des einwirkenden Momentes (d.h. des „Momentenpfeils") gedreht. Da in Abb. 1b das Gewicht des Kreisels ein Moment erzeugt, das den Kreisel nach links umkippen möchte (Pfeil M zeigt deshalb auf den Beschauer zu), wandert die Drehachse des Kreisels (und damit der Drall) ebenfalls auf den Beschauer zu (Pfeil ΔN); die Spitze von N befindet sich nach einiger Zeit dort, wo die Spitze von ΔN ist. Dies führt zu einer kegelförmigen Bewegung der Drehachse des Kreisels, die Präzession genannt wird. Die Reibung erzeugt bei dem dargestellten Kreisel an seiner Auflage außerdem ein Reibungsmoment, das die Kreiselachse zusätzlich aufzurichten versucht.

Am ausgebauten Vorderrad eines Fahrrads kann man den Kreiseleffekt verspüren: Versetzt man das Rad nach Abb. 2a in Drehung (Drallpfeil N zeigt nach links) und versucht nun, das Rad nach links zu kippen (wobei man ein linksdrehendes Moment M ausübt; der Pfeil M zeigt auf den Beschauer), so wandert die Spitze des Drallpfeils in Richtung von M bzw. ΔN. Dies bedeutet, daß das Rad — von oben gesehen — nach links schwenkt, wenn man es nach links zu kippen versucht. Versucht man jedoch (Abb. 2b), das Rad bei der eingezeichneten Drehrichtung von oben gesehen linksherum zu schwenken, so kippt es nach rechts. Diese Gesetzmäßigkeit erlaubt z.B. das Freihändigfahren beim Fahrrad (s. S. 578). In der Ballistik hat die Kreiselwirkung z. B. den Effekt, daß sich ein Geschoß nicht überschlägt, aber auch nicht mit seinem Boden auftrifft. Der Schlicksche Schiffskreisel (Abb. 3) als ein weiteres Beispiel für den technischen Einsatz der Kreiselwirkung dient zur Dämpfung der Schlingerbewegungen eines Schiffes.

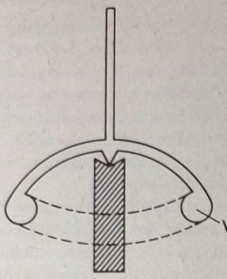


Abb. 1a

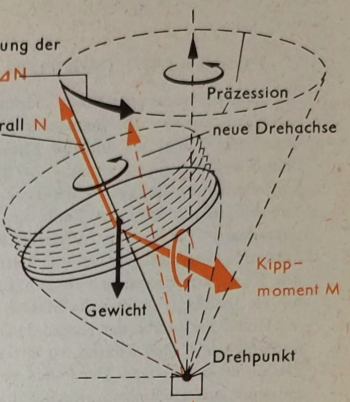


Abb. 1b

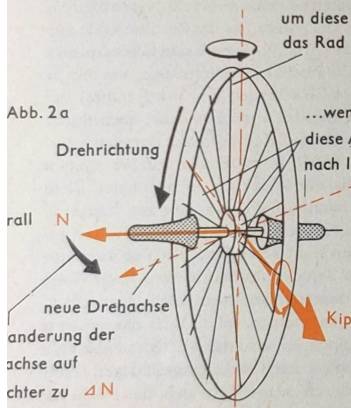


Abb. 2a

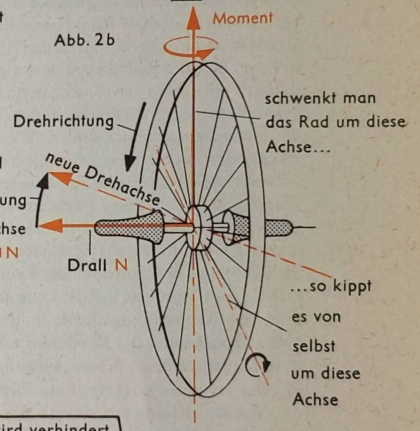


Abb. 2b

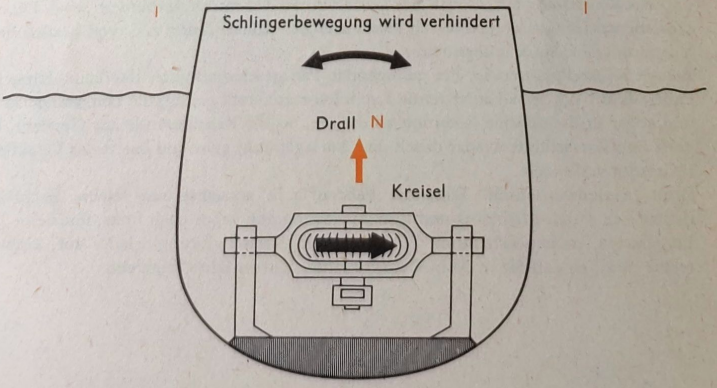


Abb. 3 Schlingerkreisel

FAHRRAD I (WARUM FÄLLT EIN RAD NICHT UM?)

Die Stabilität, sozusagen das „Nichtumfallen" eines Fahrrades beim Kurvenfahren, beruht vor allem auf der am gemeinsamen Schwerpunkt von Fahrrad und Fahrer wirksam werdenden Fliehkraft und der Kreiselwirkung (s. S. 576) von Vorder- und Hinterrad. Beim Geradeausfahren treten — so überraschend das zunächst klingen mag — neben der Kreiselwirkung ebenfalls Fliehkräfte auf, da sich die scheinbare Geradeausfahrt aus einer wellenförmigen Spur des Rades um die Fortbewegungslinie (Abb. 1) ergibt. Wer also „geradeaus" fährt, reiht in Wirklichkeit abwechselnd viele kleine Rechts- und Linkskurven aneinander. Die Gründe hierfür sind im folgenden dargelegt.

Die Fliehkraft tritt an jedem Körper auf, der auf einer Kreisbahn bewegt wird. Sie ist um so größer, je größer die Massen der Körper, je größer ihre Geschwindigkeiten und je kleiner die Radien der Kreisbahnen sind. Läßt man wie in Abb. 2 eine an einem Faden aufgehängte Kugel kreisen, so wirken auf sie die Fliehkraft, ihr Eigengewicht und die Haltekraft des Fadens. Der Faden versucht sich so einzustellen, daß die Haltekraft in die entgegengesetzte Richtung der Resultierenden der anderen beiden Kräfte zeigt. Ganz ähnlich legt sich ein Radfahrer beim Kurvenfahren so weit in die Kurve, bis die Resultierende aus Gewicht und Fliehkraft durch den Auflagepunkt geht (Abb. 3). Geriete sein Schwerpunkt tiefer, so fiele der Radfahrer um, wenn er nicht rasch die Fliehkraft vergrößerte, was ihm ja durch Verkleinern des Kurvenradius (d. h. stärkeres Einschlagen des Vorderrades) bei gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit möglich ist. Unterstützt wird er dabei noch durch die Kreiselwirkung der Räder. Wird nämlich ein rollendes Rad auf eine Kreisbahn gezwungen, so versucht es, oben nach außen zu kippen (Abb. 4); es übt also auf das gesamte Fahrrad ein Moment aus, das dieses — ähnlich wie die Fliehkraft — aufrichtet. Beim Kurvenfahren ist dieses Kreiselmoment dauernd sowohl am Vorder- wie am Hinterrad wirksam, so daß sich der Fahrer noch stärker in die Kurve legen kann, als es Abb. 3 andeutet. Droht der Fahrer umzukippen, so kann er durch stärkeren Radeinschlag nicht nur die Fliehkraft, sondern auch das Kreiselmoment zum Zwecke des Aufrichtens vergrößern. Dabei „sagt" ihm das um die Lenksäule drehbare Vorderrad gewissermaßen „von selbst" über die Richtung Bescheid, in die es eingeschlagen werden muß. Will das gesamte Fahrrad und damit das Vorderrad z. B. nach links kippen, so wird das Vorderrad ebenfalls durch entsprechende Kreiselwirkung von selbst stärker nach links eingeschlagen (Abb. 5), was zu einer engeren Linkskurve führt. Hierdurch vergrößert sich die Fliehkraft und das Kreiselmoment, so daß das Umfallen des Fahrrades verhindert wird. Diese beschriebenen Effekte werden durch zweckgerechte Konstruktion z. B. von Lenksäule und Vorderradgabel stark unterstützt.

Beim Freihändigfahren ist bei genügender Fahrgeschwindigkeit das beim Kippen des Fahrrads am Vorderrad auftretende Kreiselmoment stark genug, die Lenkstange so lange und sogar in die richtige Richtung zu drehen, bis die Resultierende aus Gewicht, Fliehkraft und Kreiselkraft wieder durch den Auflagepunkt geht und damit das Umfallen des Fahrrades verhindert.

Beim „Geradeausfahren" fährt das Fahrrad z. B. zunächst eine leichte Rechtskurve, richtet sich durch Fliehkraft und Kreiselwirkung auf, kippt nach links, fährt eine leichte Linkskurve, richtet sich durch Fliehkraft und Kreiselwirkung wieder auf, kippt nach rechts usw., so daß die in Abb. 1 dargestellte „Kurvenfahrt" entsteht.

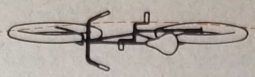


Abb. 1 Wer geradeaus fährt, fährt abwechselnd kleine Rechts- und Linkskurven

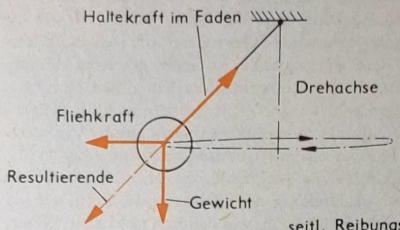


Abb. 2 Kräfte an einer Kugel auf einer Kreisbahn

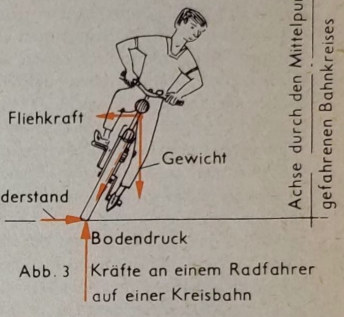
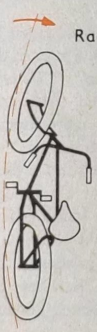


Abb. 3 Kräfte an einem Radfahrer auf einer Kreisbahn

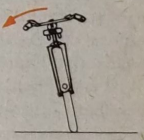


Radeinschlag

lenkt man das Rad nach rechts...

Kipprichtung

will das Rad nach links kippen...



...so entsteht ein Kreiselmoment, das es nach links aufrichtet

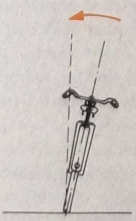


Abb. 4

...so entsteht ein Kreiselmoment, das einen Lenkeinschlag nach links hervorruft

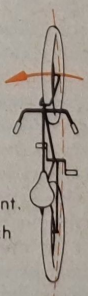


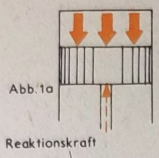
Abb. 5

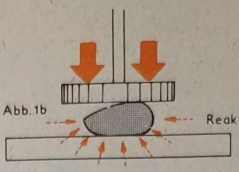
FAHRRAD II (KRAFT, DREHMOMENT, ÜBERSETZUNG)

Überall in der Technik treten Kräfte auf, die entweder Bewegungen oder Verformungen verursachen (Abb. 1a und 1b). Eine Kraft ist eindeutig bestimmt durch ihre Größe, ihre Richtung und ihren Richtungssinn. An einem starren Körper (in der Praxis können alle Körper, bei denen die Verformung vernachlässigbar klein ist, als starre Körper angesehen werden) können Kräfte in ihrer Wirkungslinie beliebig verschoben werden, ohne daß sich an ihrer Wirkung auf den Körper etwas ändert. In Abb. 2 ist das so dargestellt, daß die Muskelkraft an dem Mauerhaken direkt oder aber an irgendeinem Punkt, der in Richtung der Kraftwirkung liegt, mit der gleichen Wirkung angreifen kann. Jede Kraft erzeugt immer eine gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Gegenkraft, die sog. Reaktionskraft (Abb. 1a, 1b, 2). Bringt man eine Kraft (Gewicht G) in einem gewissen Abstand (l) vom Drehpunkt eines Körpers an (Abb. 3), so versucht diese Kraft, den Körper zu drehen. Das „Drehbestreben" des Körpers ist um so stärker, je größer die Kraft G und je größer der Abstand l dieser Kraft vom Drehpunkt (gemessen senkrecht auf die Wirkungslinie der Kraft) ist. Das Produkt Kraft × Hebelarm nennt man das *Drehmoment*, das ein Maß für das Drehbestreben des Körpers ist. In Abb. 3 sucht das Drehmoment $G \times l$ den Stab linksherum zu drehen. Es ist einleuchtend, daß die Drehung des Stabes nur durch ein genauso großes rechtsdrehendes Moment verhindert werden kann, was dadurch geschehen könnte, daß man am Stabe rechts vom Drehpunkt im Abstand l eine Kraft K anbringt, die genauso groß wie das Gewicht G auf der linken Seite ist, oder auch in doppelt so großem Abstand ($2\,l$) eine Kraft, die halb so groß ist wie das Gewicht G bzw. wie K. Um Gleichgewicht zu erhalten, muß das linksdrehende gleich dem rechtsdrehenden Moment bzw. Kraft × Kraftarm gleich Last × Lastarm sein.

Die Nutzanwendung dieses Gesetzes zeigen die Abb. 4 und 5; in beiden Fällen herrscht Gleichgewicht, wenn $K \times k = G \times g$ ist, wobei k und g, wie oben gesagt, die Senkrechten vom Drehpunkt auf die Wirkungslinien der Kräfte sein müssen. Im Falle des Hochrades der Abb. 5 ist das Drehmoment bei stets gleicher und senkrecht angreifender Muskelkraft K dann am größten, wenn der Hebelarm des Pedals in waagerechter Stellung seinen Höchstwert s annimmt. Bei dem Fahrrad der Abb. 6 gelten dieselben Verhältnisse. Die am Umfang des Pedalzahnkranzes entstehende Kraft wird hier durch die Kette auf den Zahnkranz des Hinterrads übertragen und erzeugt dort ein Drehmoment. Aus der Abb. 4 ist ersichtlich, daß durch die verschiedenen Hebelarme k und g der Kraftaufwand K gegenüber G verkleinert wird. An Arbeit, die das Produkt Kraft × Weg ist, wird jedoch nichts eingespart, da die Kraft K am Umfang der großen Scheibe einen viel größeren Weg zurücklegen muß, als das mit dem Gewicht G belastete Seil am Umfang der dünneren Welle. Bei der Abb. 5 wird dagegen der Arbeitsweg gegenüber dem Lastweg verringert.

Das moderne Fahrrad mit den in Abb. 6 eingezeichneten Maßen bewegt sich bei einer vollen Drehung eines Pedals etwa 5,90 m weit fort, weil die Umdrehungszahl des Antriebszahnkranzes in eine größere Umdrehungszahl des Hinterrades übersetzt wird: das Hinterrad dreht sich fast dreimal, wenn sich der Antriebskranz einmal dreht. Rollen wie in Abb. 7 zwei Zahnräder aufeinander ab, von denen das große einen viermal größeren Durchmesser als das kleine hat, so muß sich das kleinere viermal drehen, wenn sich das große Rad einmal dreht. Ob Radpaare wie in Abb. 7 direkt aufeinander abrollen oder ob sie durch eine Kette oder einen Treibriemen miteinander verbunden sind — das Übersetzungsverhältnis ist bei gleichen Radabmessungen immer dasselbe. Als Übersetzungsverhältnis i hat man das Verhältnis der Antriebsdrehzahl zur Ausgangsdrehzahl festgelegt. Beim Fahrrad nach Abb. 6 geht die Übersetzung ins Schnelle (i kleiner als 1), bei der Winde nach Abb. 8 jedoch ins Langsame (i größer als 1). Im umgekehrten Verhältnis wie die Drehzahlen stehen die Raddurchmesser und die entsprechenden Drehmomente.





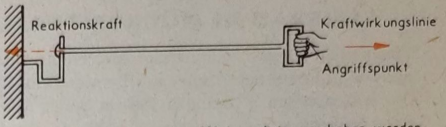


Abb. 2 Der Angriffspunkt einer Kraft kann in Richtung ihrer Wirkungslinie verschoben werden

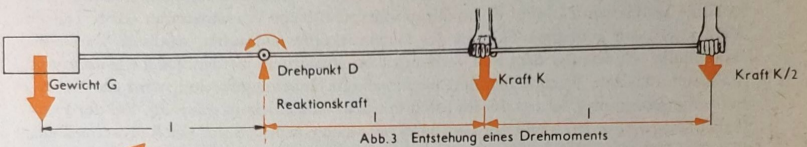


Abb. 3 Entstehung eines Drehmoments

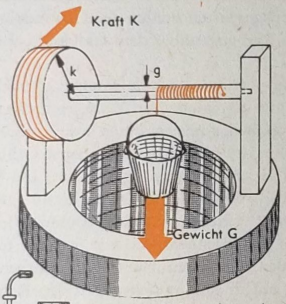
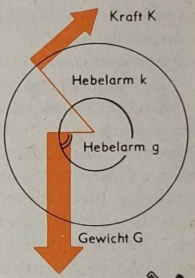


Abb. 4 Anwendung des Drehmoments bei der Seilrolle



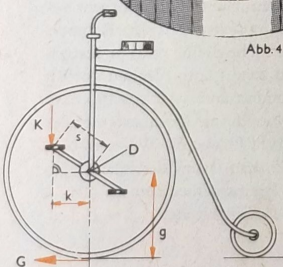


Abb. 5 Kraftwirkung am Hochrad

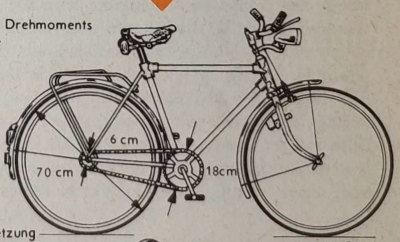


Abb. 6 Übersetzung ins Schnelle

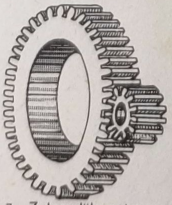


Abb. 7 Zahnradübersetzung

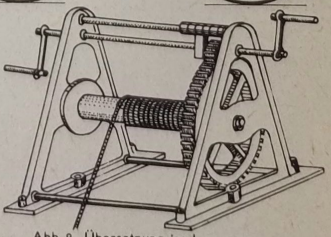


Abb. 8 Übersetzung ins Langsame

FAHRRAD III (RÜCKTRITTBREMSE UND FREILAUF)

Die Freilauf-Bremsnabe vereinigt drei Funktionen: Antrieb beim Vorwärtstreten, Freilauf bei Stillstand der Pedale und Bremsen beim Rückwärtstreten.

Die beiden ersten Wirkungen werden durch Anpressen oder Abheben von Walzen an einen drehenden Zylinder erreicht (Abb. 1). Am Gewindekopf ist das Antriebsrad befestigt. Die Antriebswalzen werden lose in einem Walzenführungsring geführt. Der Umfang des Gewindekopfes ist so ausgebildet, daß beim Vorwärtstreten (Abb. 1a) die Walzen auf den geneigten Flächen des Gewindekopfes auflaufen, wodurch sie an die Nabenhülse, die fest mit dem Rad verbunden ist, angedrückt werden. Da die Walzen nun praktisch zwischen Nabenhülse und Gewindekopf eingeklemmt sind, wird die Nabenhülse mitgenommen, so daß das Rad sich mit dem Gewindekopf mitdreht. Bei der Freilaufstellung (Abb. 1b) bleibt der Gewindekopf stehen, während sich das Rad weiterdreht. Die Walzen rollen dadurch an die am weitesten ausgesparten Stellen des Gewindekopfes zurück, so daß sich die Nabenhülse und damit das Rad gegenüber dem Gewindekopf frei vorwärts drehen kann.

Beim Rückwärtstreten der Pedale tritt die Bremse — daher die Bezeichnung „Rücktrittbremse" — in Tätigkeit. Das Prinzip dieser Bremse ist folgendes: Zwei konusförmige Körper werden in einen geschlitzten Zylinder geschoben, spreizen diesen auseinander und pressen ihn dadurch an die Innenseite der Radnabe; das Rad wird abgebremst (Abb. 2). An der Innenseite des Walzenführungsringes sind zwei Klauen angebracht, die beim Rückwärtstreten den Bremskonus festhalten (Abb. 3). Dadurch bleibt dieser stehen, schiebt sich in den Bremsmantel hinein und diesen gleichzeitig auf den gegenüberliegenden Hebelkonus. Durch diesen Vorgang wird der Bremsmantel von beiden Seiten aufgeweitet. Der Hebelkonus ist mit einem außen sichtbaren Hebel am Rahmen befestigt und bringt die Gegenkraft beim Bremsen auf, indem er sich gegen den Rahmen abstützt. Damit der Bremskonus sich während des Bremsens nicht dreht, muß er festgehalten werden. Man erreicht dies dadurch, daß man an ihm zwei glatte Flächen anfräst (Abb. 5), auf denen Walzen laufen. Die Innenseite des Bremsmantels ist gerillt, zwei Schleppfedern halten die Walzen an ihrem Platz. Wird nun durch Zurücktreten der Pedale der Bremskonus verdreht, so preßt ein Ende der glatten Fläche die Walze in eine Rille und der Konus sitzt unverrückbar fest. Dadurch muß er dem Druck der Klauen des Walzenführungsringes nachgeben und schiebt sich in den Bremsmantel hinein. Abb. 4 zeigt einen Schnitt durch eine Freilauf-Bremsnabe mit ihren Einzelteilen.

Abb. 1

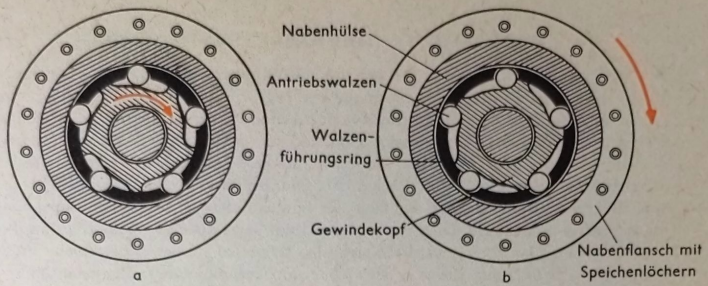


Abb. 2

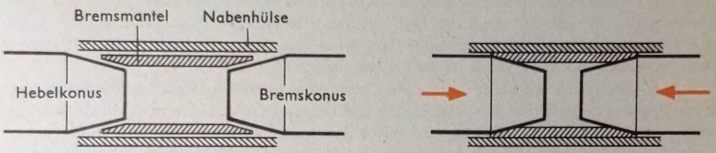


Abb. 3

Abb. 4

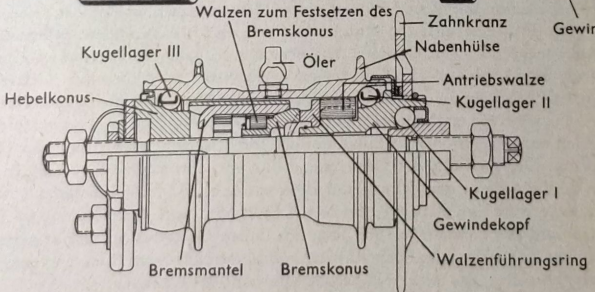
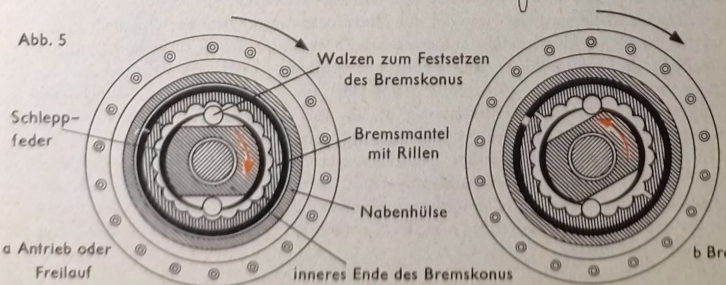


Abb. 5



FAHRRAD IV (DREIGANGSCHALTUNG)

Bei der Dreigangschaltung gibt es zwei Systeme mit unterschiedlicher Arbeitsweise:
In der *Nabenschaltung* werden Planetengetriebe (vgl. Abb. 3) verwendet. Sie bestehen aus einem Sonnen- oder Zentralrad, einem oder mehreren Planetenrädern, die in dem um die Mittelachse drehbaren Steg gelagert sind und mit dem innenverzahnten Außen- oder Kronenrad sowie dem Sonnenrad kämmen. Steht das Sonnenrad fest und wird der Steg aus der Stellung der Abb. 1a in die der Abb. 1b um eine Vierteldrehung gedreht, so wälzt sich das Planetenrad auf dem Umfang des Sonnenrades ab, dreht sich dabei um seine eigene Achse und nimmt dabei das Außenrad um mehr als eine Vierteldrehung bis zum Punkt A′ mit. Das Außenrad dreht sich also schneller als der angetriebene Steg, man erhält eine Übersetzung, die von der Größe und der Zähnezahl aller beteiligten Zahnräder abhängt. Treibt man jedoch das Außenrad an und nimmt man die Drehung vom Steg ab, so dreht sich dieser langsamer als das angetriebene Außenrad, man erhält eine Untersetzung. Verhindert man die Drehung des Planetenrades um seine eigene Achse und gibt die Drehung des Sonnenrades um seine Achse frei, so ist der Steg gegenüber dem Außenrad blockiert, beide haben gleiche Drehzahl.
Die Abb. 2 zeigt einen Schnitt durch eine Dreigang-Schaltnabe. Diese Nabe verfügt über je ein Planetengetriebe für den Schnellgang und den Berggang, beide besitzen ein gemeinsames Außenrad. Die Schaltung wird mit Hilfe der Schaltkette vorgenommen, die ins Innere der Nabe geführt wird. Sie verschiebt die als Schalträder ausgebildeten Sonnenräder beider Getriebe auf der Nabenwelle. Wird das Sonnenrad, das auch auf seiner Innenseite eine Verzahnung trägt (Abb. 3), über eine entsprechende Verzahnung auf der stillstehenden Nabenwelle gezogen und dadurch festgesetzt, so können die beschriebenen Übersetzungsverhältnisse wirksam werden. Bei dem blockierten Getriebe oder beim direkten Gang, wenn beide Getriebe blockiert sind, wird die Innenverzahnung des Sonnenrades ausgerückt (Sonnenrad ist auf der Nabenwelle lose), seine Außenverzahnung, die noch mit den Planetenrädern in Eingriff bleibt, wird dabei gleichzeitig in eine entsprechende Innenverzahnung des Steges eingerückt (Übersetzung 1:1). Das Kettenrad ist fest mit dem Steg des einen Planetengetriebes, dem äußeren Antreiber, verbunden. In diesem sind die Mittelwellen von drei Planetenrädern gelagert. Ist das in der Abb. rechts liegende Getriebe eingeschaltet, so geht die Drehung von dem angetriebenen Steg über das schneller drehende Außenrad zu dem linken Getriebe, das in diesem Fall blockiert ist, auf den Steg des zweiten Planetengetriebes, den inneren Antreiber. Dieser trägt ein Schneckengewinde, auf dem der Antriebskonus läuft. Wenn er ganz nach rechts geschoben ist, nimmt er den ihn umspannenden Konus der Mitnehmerschale mit. Diese ist mit der Nabe und somit mit dem Rad fest verbunden. In seiner linken Stellung dient der Konus zum Bremsen (s. S. 582). Beim Berggang ist das links liegende Getriebe eingeschaltet, das rechte blockiert. Sein Außenrad treibt deshalb mit der Drehzahl des Kettenrades den Steg des linken Getriebes an, der seinerseits wieder den inneren Mitnehmer und den Antriebskonus antreibt. Beim direkten Gang sind beide Getriebe blockiert, das Hinterrad hat die Drehzahl des Kettenrades.
Bei der *Kettenschaltung* wird die Kette an der Hinterradnabe auf drei verschiedene Zahnkränze, die jeweils verschiedene Durchmesser und Zähnezahlen haben, umgelegt (Abb. 4). Gebräuchlich sind Unterschiede von jeweils vier Zähnen, so daß das Zahnrad für den Berggang vier Zähne mehr (größerer Durchmesser), das Zahnrad für den Schnellgang vier Zähne weniger (kleinerer Durchmesser) als das des Normalgangs hat (vgl. S. 580). Beim Berggang ist eine größere Kettenlänge notwendig, da hier der Zahnkranz am Hinterrad den größten Umfang besitzt. Das kleine Kettenspann- und Schaltrad verschiebt die Kette auf die einzelnen Zahnkränze und sorgt, da es federnd angebracht ist, für den Ausgleich der Kettenlänge und die notwendige Spannung. Nachteilig ist bei Schaltungen dieser Art das Abweichen der Kette von der Geraden beim Gebrauch des Schnellgangs und auch des Berggangs.

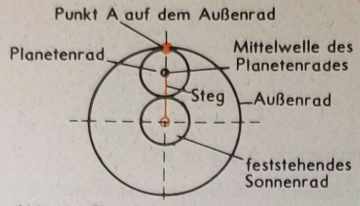


Abb. 1a Planetengetriebe mit feststehendem Sonnenrad

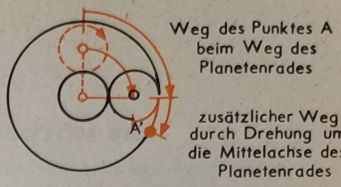


Abb. 1b Stellung nach einer Vierteldrehung

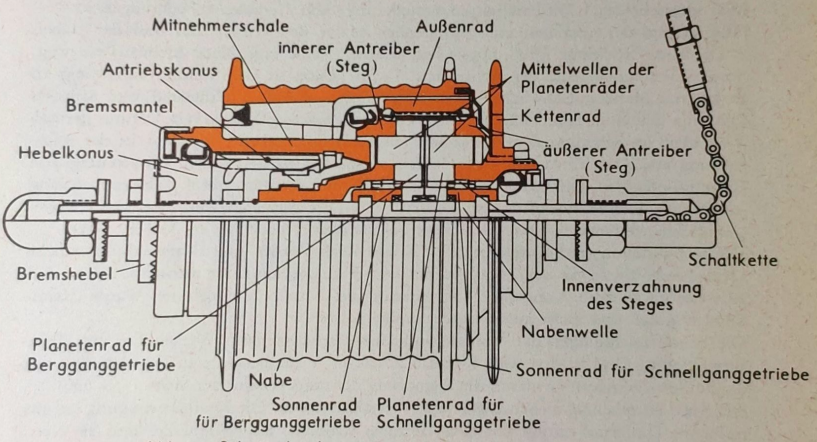


Abb. 2 Schnitt durch eine Dreigangschaltung; Stellung: Normalgang, beide Getriebe blockiert

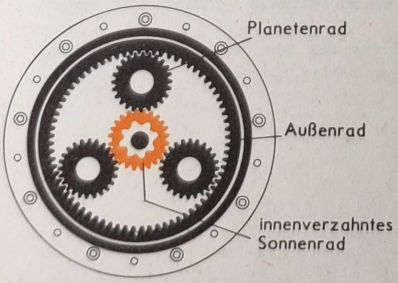


Abb. 3 Planetengetriebe der Dreigang-Bremsnabe

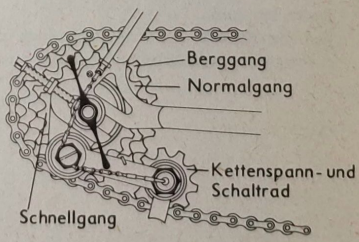


Abb. 4 Kettenschaltung

DAS MOTORGETRIEBENE ZWEIRAD

Zu den Zweirädern mit Motorantrieb zählen Motorrad, Motorroller und Moped. Aufbau und Arbeitsweise sind bei allen drei Typen gleich. Die Beschreibung erfolgt hier an Hand des Motorrades.

Das Motorrad besteht im wesentlichen aus vier Teilen, nämlich dem Rahmen, dem Motor mit Getriebe und Antriebselementen (Kette oder Kardanwelle), den Rädern und dem Benzintank (Abb. 1). Der Rahmen ist eine Rohr- oder Preßstahlkonstruktion, die als Tragelement für den gesamten Aufbau dient. Die Teile des Rahmens sind vermufft und verstärkt oder verschweißt. Die wohl wichtigsten Elemente des Rahmenaufbaues sind die Federelemente zum Abfangen der von der Straße auf die Maschine übertragenen Stöße. Man unterscheidet: 1. Die Parallelogrammfederung (Abb. 2); diese Art Federung ist schwerfällig wegen der gesamten mitschwingenden Masse des Vorderrades und der Gabel. 2. Die kurze Schwinge (Abb. 3); sie hat, wie der Name sagt, einen kleinen Federweg, dessen Drehpunkt nahe der Achse sitzt. Dafür besitzt sie den Vorteil, daß wenig zu bewegende Masse mitschwingt. 3. Die lange Schwinge (Abb. 3 [Hinterrad] und Abb. 4): Die lange Schwinge federt stärker, bringt aber mehr bewegte Massen mit. Der nur geringe Verschleiß im Schwinggelenk wirkt sich aufgrund der langen Hebelarme in der Achsführung aus. Der Verschleiß kann nahezu vermieden werden durch Verwendung von Kegelrollenlagern. Die Federungsarten 2. und 3. sind meistens mit 4. Teleskopfederung kombiniert. Die Teleskopfederung hat den Vorteil der Aufnahme eines großen Federweges bei kleinen bewegten Massen. Bei der Teleskopgabel federt nur ein Teil der Gabel.

Die Kombination der Federelemente 2., 3. und 4. für Vorder- und Hinterrad gibt nahezu ideale Verhältnisse für das Abfangen der vom Fahrweg aufgenommenen Stöße, so daß teilweise die in Abb. 3 angeführte Abfederung des Sattels fallengelassen wurde (Rennsättel und dgl. sind meist nur schaumgummigepolstert).

Die Schnittzeichnungen der Vorder- und Hinterradschwinge in Verbindung mit Teleskopfederung sind in den Abb. 4 und 5 zu sehen. Federelemente in Kombination mit ölgefüllten Zylindern bewirken die Dämpfung der aufgenommenen Stöße (s. S. 630).

Als Antriebsmaschine dienen Zwei- und Viertaktmotoren. Die Kraftübertragung auf das treibende Hinterrad erfolgt über das Getriebe (Abb. 6), die Kettenräder und die Kette bzw. durch die Kardanwelle. Der Kettentrieb ist allgemein vom Fahrrad her bekannt. Den Antrieb über eine Kardanwelle zeigt Abb. 5, wobei die sinnvolle Verwendung des hinteren Schwingarmes als Kapselung hervorgehoben werden muß. Die Räder sind bei Motorrad und Moped Speichenräder, beim Motorroller meist Vollnabenräder, ähnlich denen am Auto.

Der Benzintank dient zur Aufnahme des Kraftstoffes. Sein Fassungsvermögen sollte mindestens zur Überbrückung einer Strecke von 300 km reichen.

Abb. 1 Motorrad (Seitenansicht)

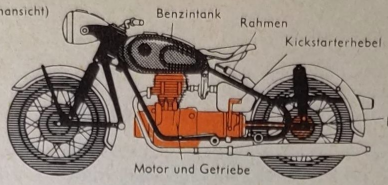


Abb. 2 Parallelogrammfederung

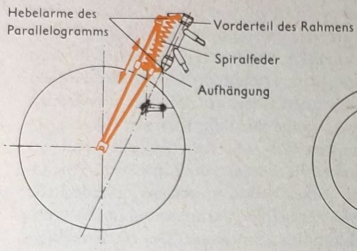


Abb. 3 Vorder- und Hinterradfederung durch Schwingen und Teleskopstoßdämpfer

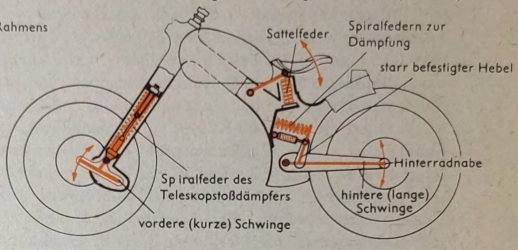


Abb. 4 Lange Schwinge als Vorderradfederung

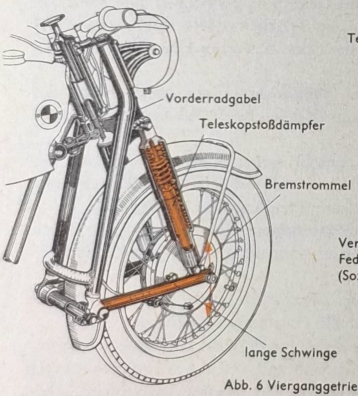


Abb. 5 Hinterrad mit Antriebs-, Brems- und Federungselementen

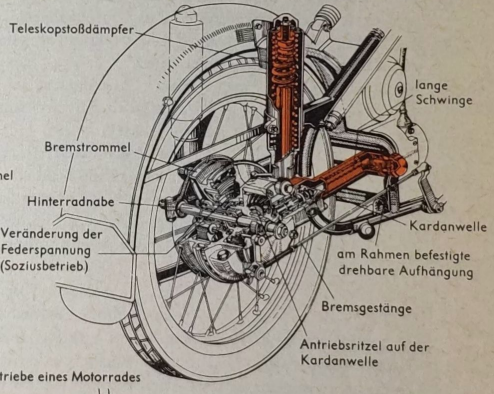
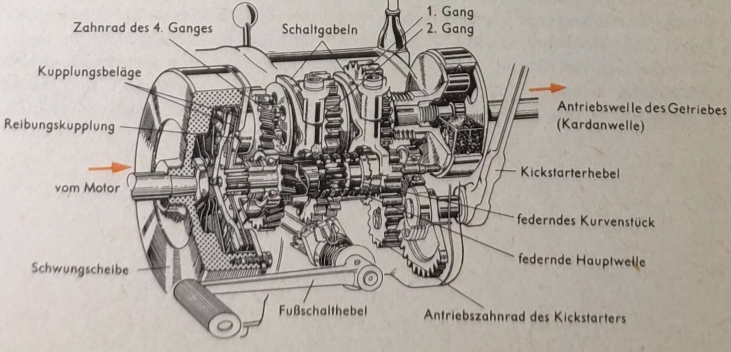


Abb. 6 Vierganggetriebe eines Motorrades



OTTOMOTOREN I

Der Ottomotor ist wie der Dieselmotor (s. S. 592) eine Verbrennungskraftmaschine: Die bei der Verbrennung des Kraftstoffs freiwerdende thermische Energie wird in mechanische Energie umgewandelt. Zum Unterschied vom Dieselmotor wird der flüssige Kraftstoff in einem Vergaser (s. S. 600 ff.) oder mit einer Einspritzvorrichtung der zu seiner Verbrennung erforderlichen Luft beigemischt, dann das entstandene brennfähige Kraftstoff-Luft-Gemisch im Zylinder verdichtet und schließlich durch den elektrischen Funken einer Zündkerze (s. S. 606) [fremd] gezündet. Wie beim Dieselmotor wird der Kolben durch den Druck der bei der Verbrennung entstehenden Gase im Zylinder abwärtsbewegt. Durch die mit dem Kolben verbundene Pleuelstange wird die Kurbelwelle in Drehung versetzt. Anschließend müssen die verbrannten Gase aus dem Zylinder und frisches Kraftstoff-Luft-Gemisch in den Zylinder gebracht werden, um ein neues Arbeitsspiel beginnen zu können. Die zur Durchführung dieses Ladungswechsels erforderliche Energie wird vom Schwungrad abgegeben, da dieses die bei der Verbrennung im Zylinder freiwerdende mechanische Energie durch Drehzahlerhöhung speichert. Der noch verbleibende Energieüberschuß kann am freien Ende der Kurbelwelle abgenommen werden.

Beim Ottomotor unterscheidet man genau wie beim Dieselmotor zwischen dem Viertakt- und dem Zweitaktverfahren. Zur Durchführung eines Arbeitsspiels (Ladungswechsel und Verbrennung) benötigt der Viertaktmotor vier Takte bzw. vier Hübe des Kolbens, der Zweitaktmotor nur zwei Hübe.

Viertaktmotor

1. Takt: Ansaugen: Bei geöffnetem Einlaßventil saugt der Kolben beim Abwärtsgang frisches Kraftstoff-Luft-Gemisch in den Zylinder.

2. Takt: Verdichten: Bei geschlossenen Ventilen verdichtet der aufwärtsgehende Kolben das Kraftstoff-Luft-Gemisch auf einen Druck von etwa 7–8 at; dann Zündung durch Zündkerze.

3. Takt: Arbeiten: Bei geschlossenen Ventilen treibt der Druck der bei der Verbrennung entstehenden Gase den Kolben abwärts.

4. Takt: Ausschieben: Bei geöffnetem Auslaßventil schiebt der aufwärtsgehende Kolben die verbrannten Gase aus.

Da nur in einem einzigen Takt Arbeit anfällt, hat der Einzylindermotor einen schlechten Gleichförmigkeitsgrad, d. h., die Kurbelwelle ist während eines Arbeitsspiels starken Drehbeschleunigungen und -verzögerungen unterworfen. Mehrzylindermaschinen haben einen gleichförmigeren Lauf, da man durch entsprechenden Versatz der einzelnen Kröpfungen der Kurbelwelle (Abb. 3) erreichen kann, daß die Arbeitstakte der einzelnen Zylinder nicht zu gleicher Zeit, sondern nacheinander und unter Umständen sich überschneidend erfolgen. Je nach der Zylinderanordnung unterscheidet man zwischen Reihenmotor (Abb. 3), Boxermotor (Abb. 4), V-Motor (Abb. 5) und Sternmotor (Abb. 6).

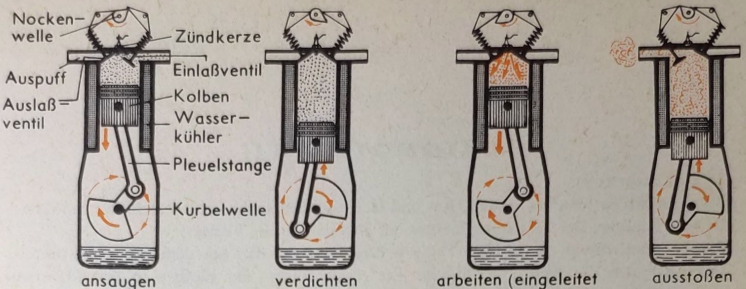


Abb. 1 Wirkungsweise eines Viertaktmotors

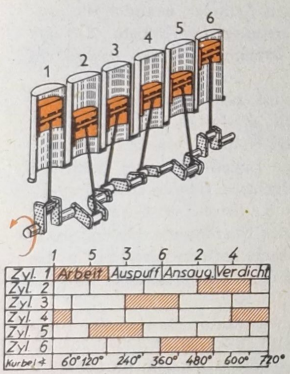


Abb. 2 Arbeitsschema eines
6 - Zylinder - Reihenmotors

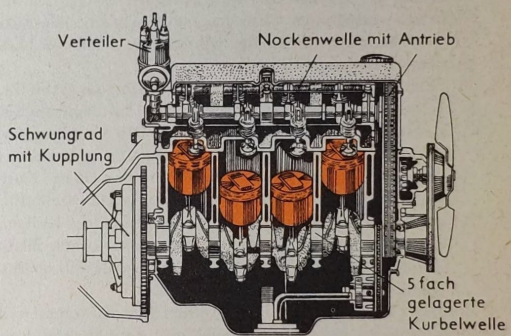


Abb. 3 Schnitt durch einen
4 - Zylinder - Reihenmotor

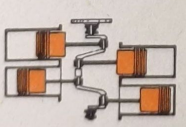


Abb. 4 Boxermotor

Abb. 5 V - Motor

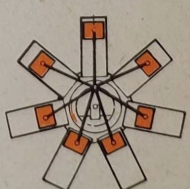


Abb. 6 Sternmotor

OTTOMOTOREN II

Zweitaktmotor

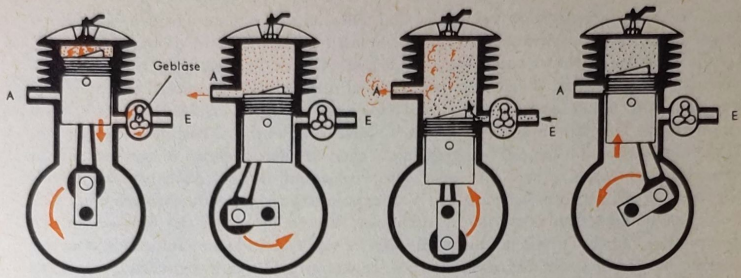
Hier gibt der Kolben bei seinem Hin- und Hergang Öffnungen in der Zylinderwandung, die sog. Schlitze, frei (nur selten besitzt der Zweitaktmotor Ventile).

Zur Verdeutlichung der beiden Takte nehme man an, daß bei dem gebläsegespülten Zweitaktmotor der Abb. 7 bei Beginn des ersten Taktes der Kolben in der höchsten Stellung steht und das über ihm befindliche verdichtete Kraftstoff-Luft-Gemisch gezündet ist. Der Kolben geht dadurch abwärts und gibt zunächst mit seiner Oberkante den Auslaßschlitz frei. Dadurch können sich die im Zylinder befindlichen, aber noch unter hohem Druck stehenden verbrannten Gase durch diesen Schlitz in den Auspuff entspannen. Wird bei weiterem Abwärtsgang des Kolbens der Einlaßschlitz freigegeben, so drückt das Gebläse frisches Kraftstoff-Luft-Gemisch in den Zylinder, wodurch die restlichen verbrannten Gase ausgespült werden. Bei Aufwärtsgang des Kolbens (2. Takt) wird nach Abschluß aller Schlitze das Kraftstoff-Luft-Gemisch verdichtet, so daß ein neues Arbeitsspiel beginnen kann.

Beim kurbelkastengespülten Zweitaktmotor (Abb. 8) wird das Gebläse dadurch eingespart, daß man das Kurbelgehäuse luftdicht abschließt, so daß es mit dem Kolben zusammen als Pumpe arbeiten kann. Bei Aufwärtsgang des Kolbens entsteht im Kurbelgehäuse Unterdruck, bis die Unterkante des Kolbens den Einlaßschlitz und damit den Weg für das frische Kraftstoff-Luft-Gemisch ins Kurbelgehäuse freigibt. Bei Abwärtsgang des Kolbens wird das im Kurbelgehäuse befindliche Kraftstoff-Luft-Gemisch etwas verdichtet, so daß es, sobald die Oberkante des Kolbens den Überströmschlitz und damit den Überströmkanal (Verbindung vom Kurbelgehäuse zum Zylinder) freigibt, in den Zylinder gelangen kann. Gleichzeitig spielt sich oberhalb des Kolbens derselbe Vorgang wie beim gebläsegespülten Motor ab.

Das Gebläse des gebläsegespülten Motors verteuert diesen Motor. Da aber der Überströmkanal zwischen Zylinder und Kurbelgehäuse entfällt, kann die Kurbelwelle mit einer Druckumlaufschmierung versehen werden, ohne daß das dann reichlich im Kurbelgehäuse vorhandene Öl in den Zylinderraum gelangen kann. Beim billigeren kurbelkastengespülten Motor wird das Schmieröl dem Kraftstoff beigemischt und gelangt mit ihm ins Kurbelgehäuse oder wird durch kleine Schmierölpumpen tropfenweise an die zu schmierenden Stellen gebracht. Das im Kurbelgehäuse anfallende Öl wird durch den Überströmkanal leicht in den Zylinder mitgerissen, von wo es durch den Auslaßschlitz zum Auspuff gelangt und sich dort unter Umständen als blauer Qualm bemerkbar macht.

Abb. 7 Gebläsegespülter Zweitakt-Ottomotor
A = Auslaßschlitz E = Einlaßschlitz



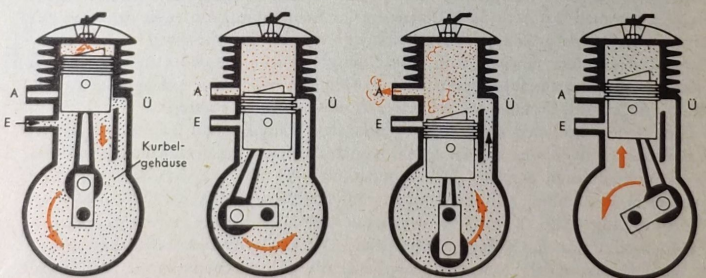
Nach Zündung Arbeitsleistung bei Abwärtsgang des Kolbens

Bei Freigabe des Auslaßschlitzes A Auspuffen der verbrannten Gase

Bei Freigabe des Einlaßschlitzes E drückt Gebläse frisches Kraftstoff-Luft-Gemisch in den Zylinder

Bei Aufwärtsgang des Kolbens nach Verschluß von A und E Verdichtung

Abb. 8 Kurbelkastengespülter Zweitakt-Ottomotor



Oberhalb des Kolbens:

Nach Zündung Arbeitsleistung bei Abwärtsgang des Kolbens

Bei Freigabe des Auslaßschlitzes A Auspuffen der verbrannten Gase

Bei Freigabe des Überströmschlitzes Ü strömt Kraftstoff-Luft-Gemisch aus Kurbelgehäuse, da es dort unter Druck steht, in den Zylinder

Bei Aufwärtsgang des Kolbens nach Verschluß von A und Ü Verdichtung

Unterhalb des Kolbens:

Bei Freigabe von Einlaßschlitz E strömt frisches Kraftstoff-Luft-Gemisch ins Kurbelgehäuse

Bei geschlossenem E und Ü wird Kraftstoff-Luft-Gemisch im Kurbelgehäuse zusammengedrückt

Nach Verschluß von E und Ü entsteht bei Aufwärtsgang des Kolbens Unterdruck im Kurbelgehäuse

DIESELMOTOR

Die Verbrennungsvorgänge bei Otto- und Dieselmotoren unterscheiden sich durch folgende wesentliche Merkmale: Beim Ottomotor (s. S. 588 ff.) wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch in den Zylinder eingesaugt, verdichtet (4:1 bis 10:1) und durch einen Zündfunken entzündet, beim Dieselmotor hingegen wird in den Zylinder reine Luft eingesaugt und dort weit höher als beim Ottomotor verdichtet (14:1 bis 25:1). Die Luft erreicht dadurch eine Temperatur von 700 bis 900 °C. Erst dann wird eine bestimmte Menge von Dieselkraftstoff in den Zylinder eingespritzt. Wegen der herrschenden hohen Temperatur entzündet sich der Kraftstoff von selbst. Die Entzündung erfolgt jedoch nicht sofort nach Eintreten der Kraftstoffteilchen in den Verbrennungsraum, sondern erst nach einer Zeit von etwa 1/1000 s. Das hängt damit zusammen, daß die Tröpfchen des Kraftstoffes sich erst mit der Luft im Verbrennungsraum innig vermischen und dann aufgeheizt und verdampft werden müssen, bevor sie verbrennen können. Die Zeit zwischen Einspritzen und Zünden nennt man den Zündverzug. Beim Einspritzen werden von der Düse in einer bestimmten Verteilung kleine und große Tröpfchen erzeugt. Die kleineren Tröpfchen befinden sich mehr in der Randzone des eingespritzten Strahles (Abb. 1) und werden zuerst entflammt. Sodann verbrennen die größeren Tropfen im Innern des Strahles. Die Einspritzung der Kraftstoffmenge geht auch nach dem Einsetzen der ersten Flammbildung weiter (Hauptverbrennung). Wenn ein Teil des Dieselkraftstoffs bei der zuerst einsetzenden Verbrennung unvollständig verbrennt oder wenn er sich so lange ansammelt, bis er bei der nachfolgenden Hauptverbrennung schlagartig verbrennt, so klopft der Motor. Im Unterschied dazu entzündet sich beim Ottomotor zunächst das Kraftstoff-Luft-Gemisch in der Nähe der Zündkerze (Abb. 2). Die von den verbrennenden Teilchen abgegebene Wärme bringt die Nachbarteilchen zur Entzündung, so daß sich im Brennraum von der Zündkerze ausgehend eine Flammfront ausbreitet, die nach und nach den ganzen Brennraum erfaßt. Durch Wärmestrahlung und durch Druckerhöhung, aber auch durch heiße Wärmenester im Brennraum kann es in dem von der Flammfront noch nicht erreichten, unverbrannten Kraftstoff-Luft-Gemisch zu einer neuen Zündung und zu einer neuen Flammfrontbildung kommen, so daß unter Umständen nun das ganze unverbrannte Kraftstoff-Luft-Gemisch von einer schlagartigen Verbrennung erfaßt wird. So kann es zum Klopfen im Ottomotor kommen.

Beim Dieselmotor kommen die gleichen Verfahren (Viertakt- und Zweitaktverfahren) zur Anwendung wie bei den Ottomotoren. Konstruktionsmäßig unterschiedliche Merkmale für Dieselmotoren ergeben sich besonders aus der Art, wie Kraftstoff und Luft miteinander in Verbindung gebracht und entzündet werden. Bei einem Dieselmotor mit Direkteinspritzung (Abb. 3) wird der Kraftstoff direkt in den Zylinder (oder auch in einen Kugelbrennraum im Kolben) eingespritzt. Die Einspritzdüse muß dabei so konstruiert sein, daß sie mit ihren Strahlen möglichst alle Luft im Brennraum erfaßt, so daß der Kraftstoff vollständig verbrennen kann. Bei Motoren mit Wirbelkammer (Abb. 4) wird die Luft vom Kolben in die Kammer hineingeschoben und erhält dadurch eine kreisende Bewegung mit großer Geschwindigkeit, wodurch die Vermischung mit dem Kraftstoff unterstützt wird. In der Vorkammer eines Dieselmotors nach Abb. 5 und 6 findet hauptsächlich eine Vermischung des Kraftstoffs mit Luft und eine Vorverbrennung statt. Durch den Druckanstieg bei der Vorverbrennung strömt das unvollkommen verbrannte Kraftstoff-Gas-Gemisch mit großer Geschwindigkeit aus der Vorkammer in den Zylinder, wo es mit der dort befindlichen Luft vollständig verbrennen kann.

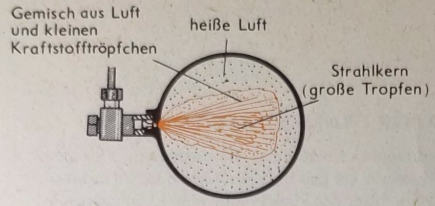


Abb. 1 Verbrennungsvorgang beim Dieselmotor

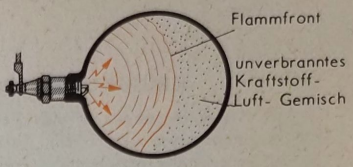


Abb. 2 Verbrennungsvorgang beim Ottomotor

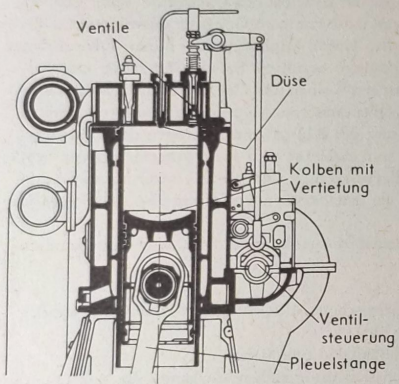


Abb. 3 Dieselmotor mit Direkteinspritzung

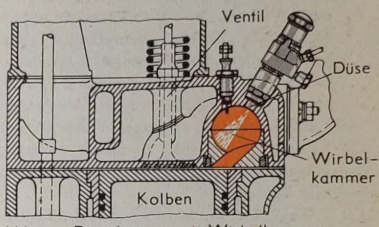


Abb. 4 Dieselmotor mit Wirbelkammer

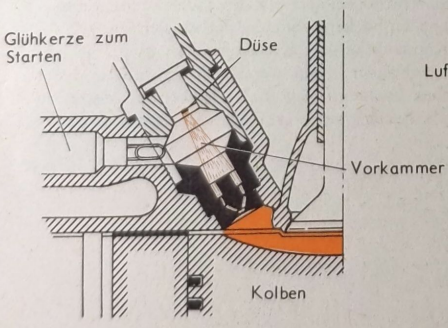


Abb. 5 Vorkammer eines Dieselmotors

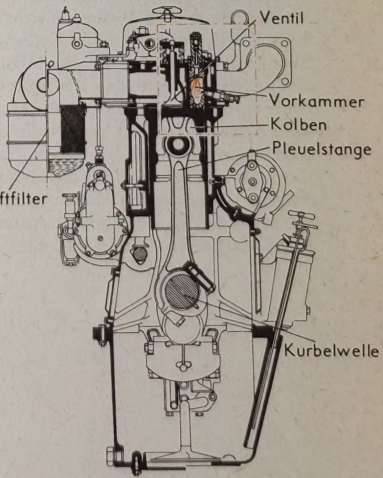


Abb. 6 Dieselmotor mit Vorkammer

KREISKOLBENMOTOR (WANKEL-MOTOR)

Der Kreiskolbenmotor ist eine Verbrennungskraftmaschine, die nach dem Viertakt-Ottoprozeß arbeitet (s. S. 588). Während jedoch bei den üblichen Ottomotoren ein hin- und hergehender (oszillierender) Kolben mit Hilfe der Pleuelstange eine Drehbewegung erzeugt (Abb.1), entsteht beim Kreiskolbenmotor die Drehbewegung durch einen rotierenden „Kolben". Dies bedeutet, daß keine hin- und hergehenden Massen beschleunigt und wieder abgebremst werden müssen, wie es beim Hin- und Hergang eines Kolbens der Fall ist, und daß die entsprechenden Massenkräfte entfallen. Dadurch sind größere Drehzahlen möglich. Der drehende Kolben öffnet und schließt mit seinen Kanten einfache Schlitze in den Zylinderwänden und steuert so selbst den Gaswechsel ohne Ventile. Der dreieckige Kolben mit konvexen Seiten läuft in einem Gehäuse, dessen Innenraum eine ovale, in der Mitte leicht eingeschnürte Kurve (Epitrochoide) bildet. Die an den Ecken des Kolbens befindlichen Dichtkanten berühren bei der Drehung ununterbrochen die Gehäusewand, so daß sich zwischen Kolben und Gehäuse drei abgeschlossene Räume bilden, die sich im Laufe einer Kolbenumdrehung vergrößern und verkleinern, so daß die Vergrößerung und Verkleinerung der Räume zum Ansaugen des Kraftstoff-Luft-Gemisches, zu seiner Verdichtung, zum Arbeiten und zum Ausschieben der verbrannten Gase, d.h. zu einem vollständigen Viertakt-Ottoprozeß, ausgenutzt werden können (Abb. 2). Für die Kammer zwischen den Ecken A und C ergeben sich folgende vier Takte:

1. Takt: Der Kreiskolben gibt den Einlaßkanal frei, gasförmiges Brennstoff-Luft-Gemisch strömt ein;
2. Takt: Das Gemisch wird verdichtet;
3. Takt (Arbeitstakt): Das verdichtete Gemisch wird durch eine Zündkerze gezündet, verbrennt und treibt den Kolben an;
4. Takt: Das Abgas wird durch den Auslaßkanal ausgeschoben.

In den anderen zwei Brennräumen spielen sich die gleichen Vorgänge ab, nur um jeweils 120° versetzt. Bei einer Kolbenumdrehung erhält man also drei Zündungen. Aus Abb. 2 ist zu ersehen, daß der Wankel-Motor nur zwei bewegte Teile besitzt, den Kolben und die Antriebswelle. Konzentrisch im Kolben befindet sich eine Innenverzahnung und die Lagerung für den Exzenter der Motorwelle. Die Innenverzahnung wälzt sich auf einem zur Motorwelle konzentrischen, aber mit dem Gehäuse fest verbundenen Zahnrad ab. Die Anzahl der Zähne der beiden Zahnräder verhält sich wie 3:2.

Eines der großen Probleme bei der Konstruktion des Kreiskolbenmotors ist die Abdichtung der einzelnen Kammern untereinander; denn wenn sich die Inhalte dieser Kammern frei untereinander austauschen könnten, wäre die Funktion des Motors in Frage gestellt. Man hat dieses Problem durch ein System von Dichtleisten gelöst (Abb. 4).

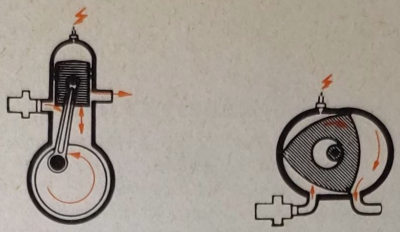


Abb. 1 Vergleich der Arbeitsweise bei Zweitaktkolbenmotor und Kreiskolbenmotor

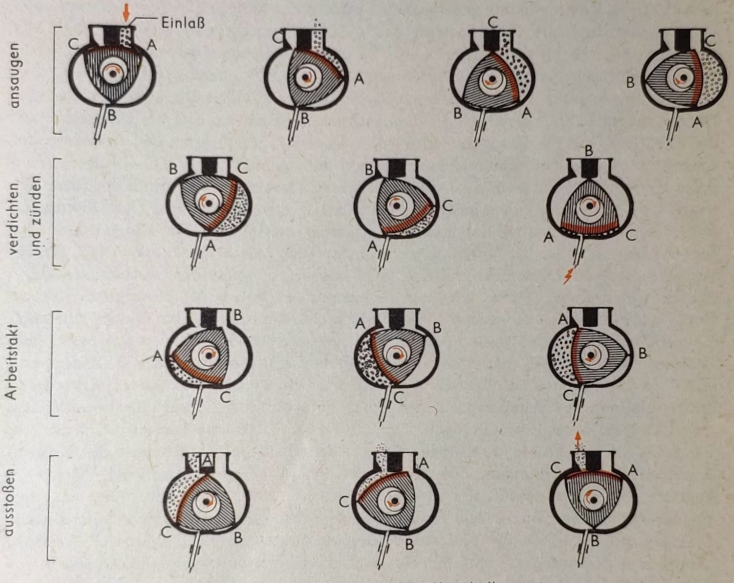


Abb. 2 Abeitsverlauf des Kreiskolbenmotors (dargestellt an einer Kammer)

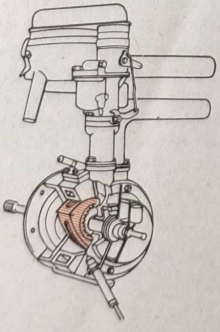


Abb. 3 Schnitt durch einen Kreiskolbenmotor

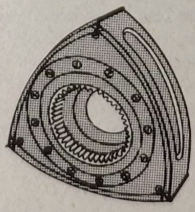


Abb. 4 Kreiskolben

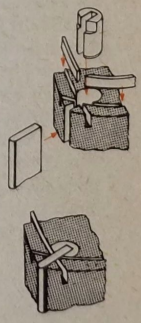


Abb. 5 Kantenabdichtung

EINSPRITZPUMPE

Bei Dieselmotoren (s. S. 592) wird das Brennstoff-Luft-Gemisch erst im Zylinder nach der Verdichtung durch den Kolben gebildet. Der Brennstoff wird in die unter hohem Druck stehende heiße Luft eingespritzt und verbrannt. Die Einspritzpumpe muß den notwendigen hohen Druck (80 bis 300 at), der höher sein muß als der jeweilige Gegendruck im Zylinder, erzeugen und dafür sorgen, daß eine bestimmte Kraftstoffmenge zum richtigen Zeitpunkt mit gewünschter Spritzgeschwindigkeit in den Verbrennungsraum eingespritzt wird. Die Einspritzdüse (Abb. 1) verteilt und zerstäubt dabei den Kraftstoff. Sie sitzt im Düsenhalter (Abb. 2), ihre Düsennadel wird von der Druckfeder auf den Ventilsitz gepreßt. Die Düsennadel hat in ihrem oberen Teil einen größeren Querschnitt als unten. Auf die Differenzfläche zwischen beiden Querschnitten, die sog. Druckschulter (Abb. 1b) wird der Pumpendruck wirksam, so daß bei Überschreitung der Federkraft die Nadel angehoben wird und der Kraftstoff durch den freiwerdenden Querschnitt in den Verbrennungsraum eingespritzt wird. Mit der im Düsenhalter befindlichen Einstellschraube kann die Vorspannkraft der Druckfeder und damit der Einspritzdruck (= Druck zum Überwinden der Federkraft) verändert werden. Der Düsenhalter ist mit der Einspritzpumpe durch eine Druckleitung verbunden. Die Länge dieser Einspritzleitung, ja sogar ihr Durchmesser und ihre Wandstärke, beeinflussen den Druckverlauf in der Leitung und damit auch den Einspritzvorgang und Verbrennungsablauf.

Die Einspritzpumpe besteht wie jede Kolbenpumpe (vgl. S. 44) im wesentlichen aus einem Kolben, einem Saug- und einem Druckventil und ist darüber hinaus mit einer Einstellung zur Regelung der Fördermenge versehen. Im allgemeinen geschieht diese Regelung dadurch, daß man während der Hubbewegung des Kolbens das Saugventil noch eine bestimmte Zeit offenhält. Dadurch wird ein Teil der Fördermenge wieder in die Saugleitung zurückgeführt. Bei den Bosch-Pumpen (Abb. 3) wird die Fördermenge durch Drehen des Kolbens geregelt. Der Druckraum über dem Kolben ist durch eine Längsnut oder Bohrung im Kolben mit dem unterhalb der Schrägkante des Kolbens liegenden Raum verbunden. Solange die in Abb. 4 eingezeichnete rote Fläche des Kolbens die rechts gezeichnete Öffnung überdeckt, wird gefördert; wenn dagegen die Öffnung von der roten Fläche freigegeben wird, kann der Kolben nicht mehr fördern, weil dann die oberhalb des Kolbens verdrängte Restmenge von Kraftstoff durch die Längsnut in den unteren Raum und von da in die Überströmleitung abfließt. Beim Verdrehen des Kolbens deckt die rote Fläche die Öffnung mehr oder weniger lange ab, so daß sich die Fördermenge ändert. Die Verstellung erfolgt über eine Zahnstange von Hand oder durch einen Fliehkraftregler (Abb. 5).

Um in der Druckleitung von der Pumpe zur Düse bei Beendigung des Einspritzens einen raschen Druckabbau und sofortiges Schließen der Düse zu erzielen, ist bei den Druckventilen der Bosch-Pumpen eine besondere Vorrichtung eingebaut (Abb. 6). Am Ende der Förderung taucht zuerst der Entlastungskolben in die Ventilbohrung ein und schließt die Druckleitung ab. Anschließend senkt sich der Kegel des Ventilkörpers auf seinen Sitz. Dabei vergrößert sich das dem Brennstoff in der Druckleitung zur Verfügung stehende Volumen um das Volumen des Entlastungskolbens, die Druckleitung wird rasch entlastet. Das Nachtropfen und die daraus sich ergebende Verkokung der Düse werden so vermieden.

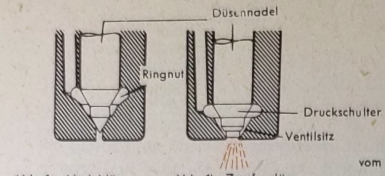


Abb. 1a Nadeldüse geschlossen

Abb. 1b Zapfendüse geöffnet

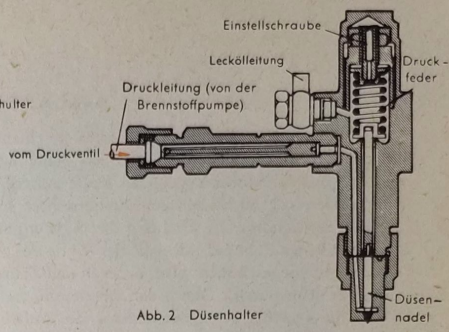


Abb. 2 Düsenhalter

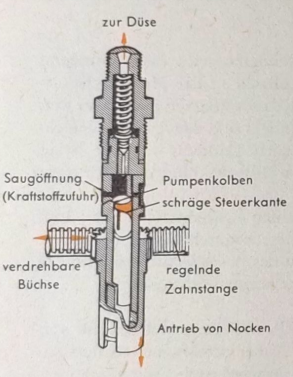


Abb. 3 Pumpenelement

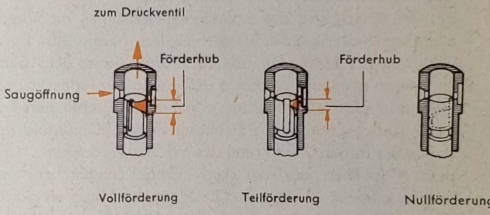


Abb. 4 Kolbenverdrehung liefert unterschiedliche Fördermenge

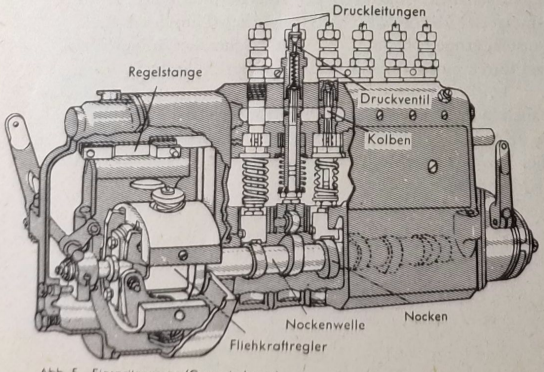


Abb. 5 Einspritzpumpe (Gesamtschema)

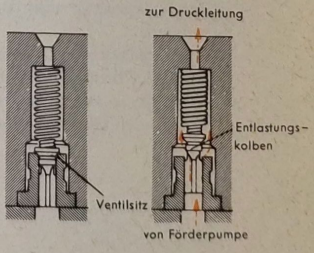


Abb. 6 Druckventil mit Entlastungskolben

ANLASSER

Das Starten von Verbrennungsmotoren geschieht im allgemeinen dadurch, daß ein mit Batteriestrom betriebener Anlasser das Schwungrad des Motors so lange in Drehung versetzt, bis der Motor aus eigener Kraft weiterlaufen kann. Bei Ottomotoren sind dabei Drehzahlen von 50 bis 60, bei Dieselmotoren solche von etwa 100 Umdrehungen pro Minute notwendig. Die Drehung des Schwungrades kommt dadurch zustande, daß ein Ritzel (kleines Zahnrad), das auf der Welle des Anlassers sitzt, beim Beginn des Anlaßvorganges vorgeschoben wird, bis es in den Zahnkranz auf dem Rand des Schwungrades eingreift (Einspuren). Durch den Antriebsmotor des Anlassers wird das Schwungrad in Drehung versetzt. Nach Beendigung des Anlaßvorganges (wenn der Motor von allein läuft) wird das Anlasserritzel wieder zurückgezogen (Ausspuren). Die verschiedenen Anlasserbauarten, die heute verwendet werden, unterscheiden sich in der Hauptsache durch die Art des Ein- und Ausspurens.

Schubankeranlasser (Abb. 1 und 2)

Bei der Betätigung des Anlasserdruckknopfes im Wageninneren wird die Verbindung zwischen Batterie und Magnetschalter hergestellt. Es entsteht in der Magnetschalterwicklung ein starkes Magnetfeld. Dadurch wird der Anker dieses Magnetschalters so weit nach vorn gezogen, daß die Kippbrücke den Kontakt I schließt und damit die Hilfswicklung und die Haltewicklung von Strom durchflossen werden. Dadurch wird der Anker unter stetiger, langsamer Drehung in das Magnetfeld der Hilfswicklung hineingezogen und spurt in den Zahnkranz des Schwungrades ein.

Beim Vorziehen wird der Auslösehebel freigegeben, der den Kontakt II an der Kippbrücke schließt (Abb. 1b). Die Hauptwicklung ist jetzt stromdurchflossen, der Anker dreht sich, der Motor wird durchgedreht. Beim Loslassen des Anlasserknopfes wird der Anker stromlos; er wird durch die Rückzugsfeder zurückgezogen (ausgespurt).

Schubschraubtriebanlasser (Abb. 3 und 4)

Bei diesem Anlassertyp ist das Ritzel entlang der Ankerwelle auf einem Steilgewinde verschiebbar. Bei Betätigung des Anlasserknopfes wird der Anker des Magnetschalters angezogen und das Ritzel unter Drehung durch den Einspurhebel nach vorn geschoben. In der zweiten Einschaltstufe wird der Magnetschalter geschlossen, die Einzugswicklung wird stromlos, der Anker des Anlassers beginnt sich zu drehen und schraubt das Ritzel völlig nach vorn, bis es in den Zahnkranz eingespurt ist. Durch die Haltewicklung wird der Magnetschalter in seiner Lage gehalten. Nun kann der Anlassermotor den Motor durchdrehen. Nach dem Anspringen des Motors wird der Einspurhebel durch die Rückholfeder in die Ruhestellung zurückgezogen; beginnt der Motor schneller zu laufen als der Anlasser, so wird das Ritzel durch einen Rollenfreilauf von der Ankerwelle losgekuppelt.

Alle Anlasserbauarten können auch in ihrer ersten Einschaltstufe mechanisch durch einen Fußhebel betätigt werden, wie in Abb. 5 am Beispiel eines Schubtriebanlassers gezeigt wird. Diese Bauart ist einfacher als die des Schubschraubtriebanlassers, weil hier das Ritzel beim Einspuren nicht gedreht wird.

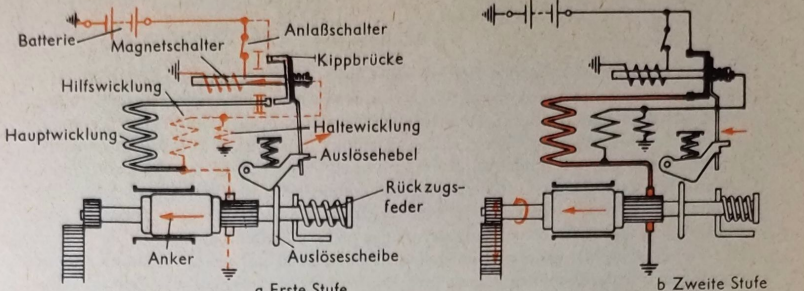


Abb. 1 Einspurstufen beim Schubankeranlasser

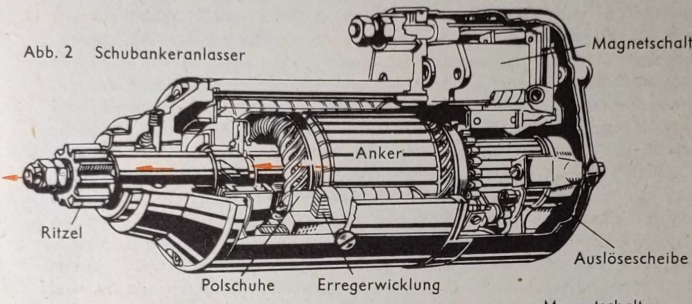


Abb. 2 Schubankeranlasser

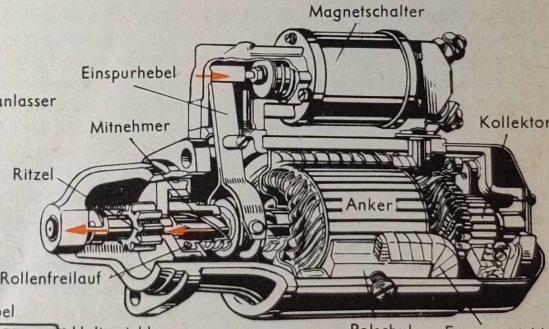


Abb. 3 Schubschraubtriebanlasser

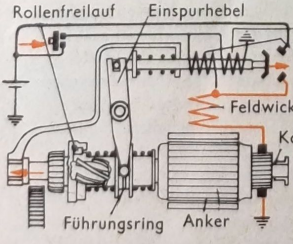


Abb. 4 Schubschraubtriebanlasser

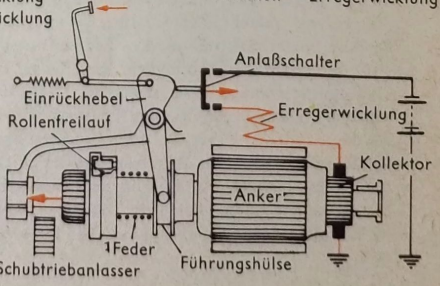


Abb. 5 Einstufiger Schubtriebanlasser

VERGASER I

Vergaser erzeugen das für den Betrieb von Ottomotoren notwendige Kraftstoff-Luft-Gemisch. Strenggenommen wird im Vergaser der Kraftstoff nicht vergast, sondern nur durch die angesaugte Luft ein „Gemischnebel" erzeugt, in dem der flüssige Treibstoff in Form von kleinen Tröpfchen in einem Luftstrom verteilt ist. Durch Wärmeaufnahme auf dem Weg bis zum Zylinder werden diese kleinen Flüssigkeitsteilchen dann verdampft. Dieses Flüssigkeitsdampf-Luft-Gemisch gelangt schließlich in den Verbrennungsraum des Zylinders. Moderne Vergaser weisen vier verschiedene Systeme auf: den Hauptvergaser, das Leerlaufsystem, die Beschleunigungspumpe und die Starteinrichtung.

Zur Verbrennung des Gemischs im Zylinder ist Sauerstoff notwendig; er strömt mit der vom Kolben beim Rückgang angesaugten Luft ein. Dabei muß die Luft durch ein Filter und ein Ansaugrohr strömen. Im Ansaugrohr wird das Benzin von der Luft mitgerissen (Abb. 1b). Man bedient sich dabei einer Erscheinung, die durch die Bernoullische Gleichung beschrieben wird: Die Summe aus statischem Druck und Staudruck ist stets gleich (s. S. 10). Daraus folgt, daß bei Erhöhung der Geschwindigkeit der statische Druck abnehmen muß. Verengt man das Ansaugrohr an einer Stelle, so muß die gleiche Menge Luft durch diesen verengten Querschnitt mit erhöhter Geschwindigkeit strömen. An der Stelle erhöhter Geschwindigkeit sinkt der Druck sehr stark ab, es entsteht also ein Unterdruck gegenüber der Umgebung. Dadurch wird das Benzin aus dem Mischrohr herausgerissen und zerstäubt (Abb. 1b). Die feinen Tröpfchen führt der Luftstrom zum Zylinder. Diese Vorgänge schildern die Arbeitsweise des Hauptvergasers. Die Luftansaugleitung legt man zweckmäßig entlang der Abgasleitung. Durch die abgestrahlte Wärme dieser Teile erhitzt sich der Luftstrom. Die Strahlungswärme genügt, um das tropfenförmige Benzin zu verdampfen. Die Hauptdüse, die eine Verengung in der Zuflußleitung des Kraftstoffes vom Schwimmergehäuse zum Mischrohr darstellt, begrenzt die der Luft im Mischkanal in der Zeiteinheit zumischbare Kraftstoffmenge, da vom Schwimmergehäuse nur so viel Kraftstoff nachfließen kann, wie die enge Bohrung der Hauptdüse zuläßt. Die Begrenzung des Benzinzulaufs zum Vergaser besorgt die Schwimmereinrichtung. Diese besteht aus Schwimmerkammer, Schwimmer und Nadelventil. Bei Füllung der Schwimmerkammer mit Benzin steigt der Schwimmer, ein Hohlkörper aus Messingblech, so lange an, bis die Ventilnadel auf den Ventilsitz drückt und den Benzinzufluß sperrt. Dadurch ist es möglich, das Niveau des Kraftstoffes stets 2–3 mm unter der Öffnung des Austrittsrohres zu halten. Bei Ansteigen des Schwimmers in der Kammer wird die Luft, die dabei verdrängt wird, in das Luftansaugrohr zurückgeführt (Entlüftung). Die vom Gaspedal bediente Drosselklappe ist bei Leerlauf geschlossen. Dadurch wird das Vollastsystem ausgeschaltet und dafür das *Leerlaufsystem* in Betrieb gesetzt. Es sorgt für die Gemischabgabe bei Leerlauf (Abb. 3a und b) und arbeitet unabhängig von der Vollasteinrichtung. Bei geschlossener Drosselklappe kann nur wenig Luft durch das Ansaugrohr strömen; sie kann also keinen Kraftstoff aus dem Mischrohr mitreißen. Jedoch tritt an dem engen Spalt zwischen Drosselklappe und Vergasergehäuse eine so große Geschwindigkeitserhöhung ein, daß hinter der Drosselklappe ein kräftiger Unterdruck entsteht. Dieser läßt auch im Leerlaufgemischkanal Unterdruck entstehen, wodurch der Kraftstoff aus dem Leerlaufbenzinkanal abgesaugt wird. Die notwendige Luft wird oben am Lufteintritt eingesaugt. Eine zusätzliche Luftmenge wird an der Luftregulierschraube vorbei angesaugt. Durch Herein- oder Herausdrehen dieser Schraube wird die Zusammensetzung des Kraftstoff-Luft-Gemischs bei Leerlauf fetter oder magerer eingestellt (Abb. 3a). Bei einem anderen System (Abb. 3b) wird nicht die Menge der Zusatzluft, sondern die Zugabemenge des im Leerlaufgemischkanal entstehenden Kraftstoff-Luft-Gemischs zur Luft in der Ansaugleitung durch die Leerlauf-Gemischregulierschraube reguliert. Bei leicht geöffneter Drosselklappe tritt der obere Austrittsschlitz in Tätigkeit. Die Leerlaufstellung der Drosselklappe wird durch einen Anschlag festgelegt.

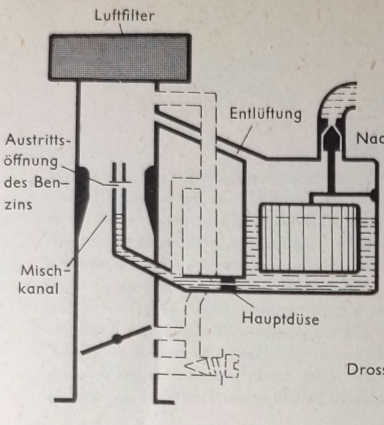


Abb. 1a Vollastsystem in Ruhe

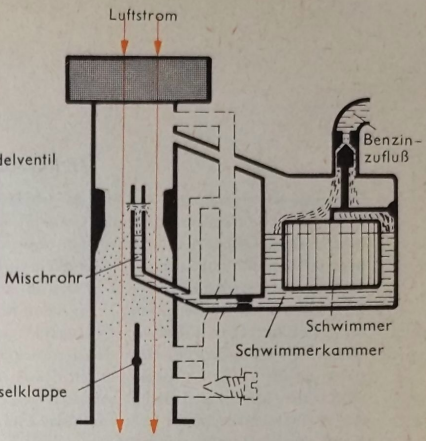


Abb. 1b Vollastsystem in Betrieb

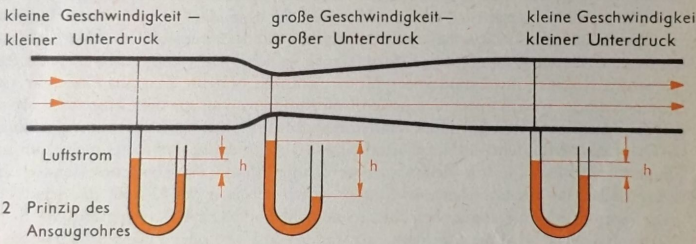


Abb. 2 Prinzip des Ansaugrohres

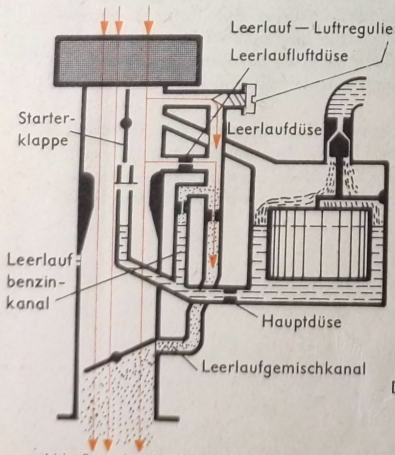


Abb. 3 a Leerlaufsystem mit Luftregulierung

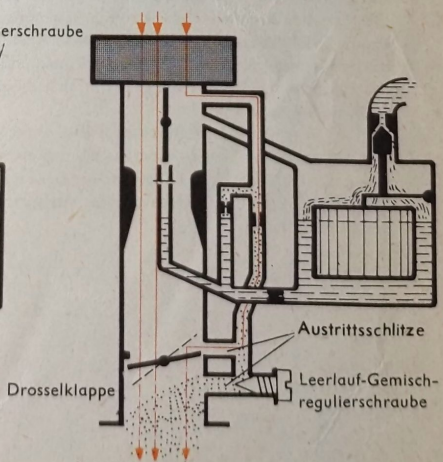


Abb. 3 b Leerlaufsystem mit Gemischregulierung

VERGASER II

Plötzliche *Beschleunigungen* des Motors erfordern eine sofortige höhere Leistungsabgabe und damit ein momentan fetteres Gemisch, d. h. ein Gemisch mit kurzzeitig höherem Benzinanteil. Öffnet man bei niedriger Motordrehzahl plötzlich die Drosselklappe, so ist der bei der niedrigen Luftgeschwindigkeit vorhandene Unterdruck nicht ausreichend, aus dem Mischrohr allein genügend Kraftstoff zur Beschleunigung des Motors abzusaugen. Man kann daher entweder eine Vorratskammer anbringen (Abb. 4a), aus der sofort mehr Kraftstoff nachströmt, oder man verwendet eine Einspritzpumpe (Abb. 4b), die mit dem Gaspedal verbunden ist. Beim Niederdrücken des Gaspedals wird durch das Pumpengestänge die Feder entspannt, durch das Auslaßventil und die Düse strömt der Kraftstoff in den Mischkanal. Beim Loslassen des Pedals geht der Pumpenkolben nach oben, das Auslaßventil schließt sich, durch das Einlaufventil fließt neuer Kraftstoff zu, und die Feder wird wieder gespannt.

Beim *Starten* eines kalten Motors schlägt sich ein großer Teil des im Kraftstoff-Luft-Gemisch vorhandenen Kraftstoffes in der kalten Ansaugleitung und an der kalten Zylinderwandung nieder. Damit trotzdem im Verbrennungsraum ein brennfähiges Kraftstoff-Luft-Gemisch vorhanden ist, muß im Vergaser ein besonders fettes Gemisch hergestellt werden. Man verschließt zu diesem Zweck den Eintritt der Hauptluft in den Vergaser durch eine Starterklappe (Abb. 5). Die Drosselklappe ist dabei nur wenig geöffnet. Beim Rückgang des Kolbens im Zylinder des Motors entsteht nun im Vergaser eine sehr starke Pumpwirkung, so daß durch den hohen Unterdruck sowohl aus dem Mischrohr als auch aus dem Leerlaufsystem reichlich Kraftstoff abgesaugt wird. Ist der Motor angesprungen, so sorgt ein Flatterventil in der Starterklappe (Abb. 6) dafür, daß etwas mehr Luft angesaugt werden kann, da für den warm werdenden Motor ein überfettes Gemisch nicht geeignet ist. Bei diesem Flatterventil wird durch den Sog des Motors die Scheibe entgegen der Federkraft abgehoben und so dem Motor mehr Luft zugeführt. Ist die Anwärmzeit vorbei, wird die Luftklappe entweder von Hand oder automatisch geschlossen. Die Automatik wird meist thermisch gesteuert. Hierbei hält eine Spiralfeder die Starterklappe geschlossen. Diese Feder ist aus Bimetall gefertigt, also aus zwei Metallen, die sich bei Erwärmung verschieden stark ausdehnen und die Spannung der Spiralfeder verändern. Bei Erwärmung des Motors erwärmt sich diese Spiralfeder mit und öffnet im gleichen Maß die Starterklappe.

Abb. 6 zeigt den Aufbau eines Fallstromvergasers. Bezeichnungen wie Fallstrom-, Steigstrom- oder Flachstromvergaser sagen etwas über die Richtung aus, in der die angesaugte Luft strömt. Beim Fallstromvergaser ergibt sich eine Strömungsrichtung von oben nach unten, beim Steigstromvergaser entgegengesetzt und beim Flachstromvergaser in horizontaler Richtung.

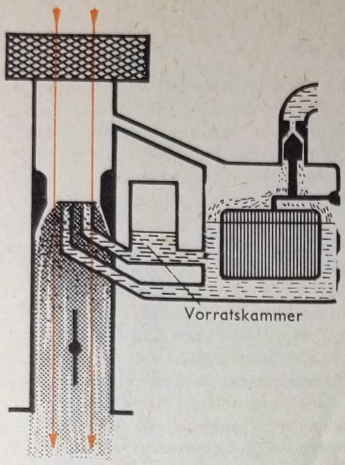


Abb. 4a Beschleunigungssystem mit Vorratskammer

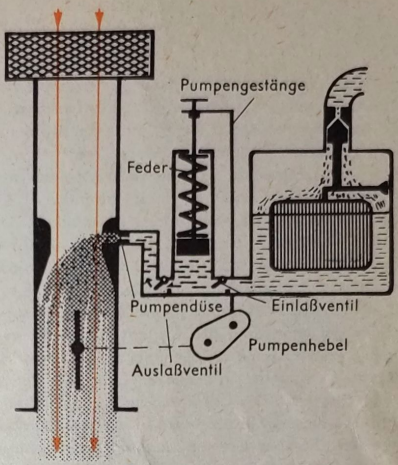


Abb. 4b Beschleunigungssystem mit Einspritzpumpe

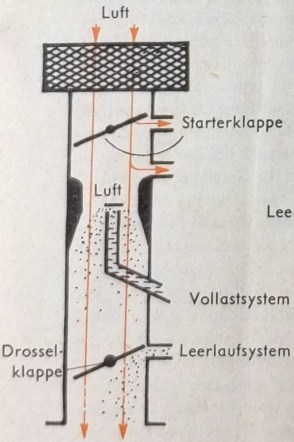


Abb. 5 Gemischbildung beim Kaltstart

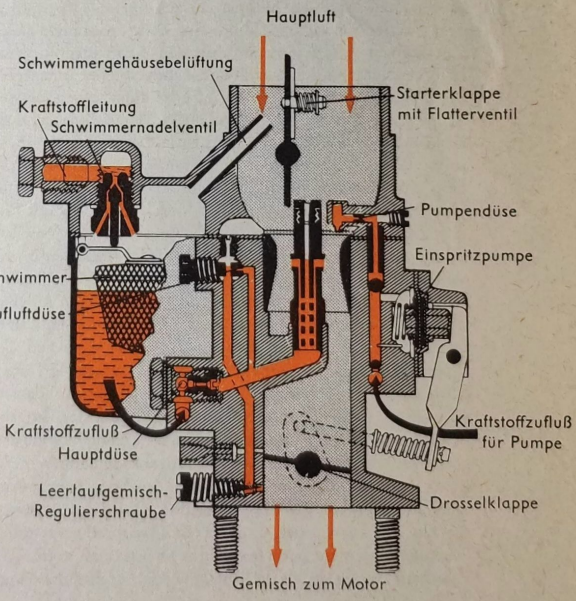


Abb. 6 Solex-Fallstromvergaser

ZÜNDVERTEILER

Im Verteilergehäuse sind die Steuerorgane der Batteriezündung untergebracht. Es enthält den Unterbrecher mit Kondensator, den Unterbrechernocken, den eigentlichen Verteiler, der die Zündimpulse auf die Zylinder des Motors verteilt, und einen Zündversteller, der den dem Betriebszustand des Motors angepaßten optimalen Zündzeitpunkt einstellt.

Durch die Längsachse des Verteilers läuft eine drehbare Welle, deren unteres Ende mit einem Antriebsrad im Motorblock verbunden ist. Diese Welle wird mit gleicher Drehzahl wie die Nockenwelle des Motors angetrieben. Auf dieser Welle ist der Unterbrechernocken angebracht, der den Unterbrecherhebel betätigt (Abb. 1). Dieser Hebel ist auf einer Platte drehbar gelagert. Auf dem oberen Ende der Welle ist der Verteilerläufer aufgesteckt; er ist aus Kunststoff, durch ihn führt eine Elektrode. Die Verteilerscheibe ist gleichzeitig der Deckel des Gehäuses. Sie trägt in der Mitte eine Schleifkohle, durch welche der Strom auf den Verteilerläufer übertragen wird. Mehr nach dem Rand der Scheibe zu sitzt eine der Zylinderzahl des Motors entsprechende Anzahl von Wolframelektroden. Sie sind so angeordnet, daß der Verteilerläufer immer dann an einem Kontakt steht, wenn der Unterbrecher den Stromkreis der Primärwicklung der Zündspule öffnet. In diesem Moment wird in der Sekundärwicklung der Zündspule eine Spannung induziert, die über den Verteilerläufer an die entsprechende Zündkerze gelegt wird. Der Kondensator verhindert eine Funkenbildung am Unterbrecherkontakt. Der Zündfunke wird also folgendermaßen erzeugt: Solange der Unterbrecherkontakt nicht vom Nocken geöffnet ist, kann im Primärkreis (Batterie-Primärwicklung-Unterbrecherkontakt-Masse; Abb. 2) Strom fließen, wodurch sich in der Zündspule ein Magnetfeld aufbauen kann. In dem Augenblick, in welchem der Unterbrecher den Primärstromkreis unterbricht, bricht in der Zündspule das Magnetfeld zusammen. Diese plötzliche Magnetfeldänderung erzeugt in der Sekundärwicklung eine hohe Spannung, die durch den Verteiler an eine der Zündkerzen gelegt wird und dort den Zündfunken hervorruft.

Im Verteilergehäuse ist auch der Zündversteller untergebracht. Er hat die Aufgabe, den optimalen Zündzeitpunkt des Motors automatisch einzustellen. Dieser Zündzeitpunkt hängt stark von der Beschaffenheit des Kraftstoffes und der augenblicklichen Belastung und Drehzahl des Motors (z. B. Leerlauf oder Vollast) ab. Um eine Verstellung des Zündzeitpunktes zu erreichen, ist die Verteilerwelle zweiteilig. Das obere Ende ist gegenüber dem unteren verdrehbar, wodurch der Nocken relativ zum von unten erfolgenden Antrieb verdreht werden kann. Eine Vorrichtung, die mit Fliehgewichten arbeitet, verdreht das obere Ende der Verteilerwelle und damit den Nocken relativ zum Antrieb entsprechend der Motordrehzahl. Dadurch erfolgt bei hoher Motordrehzahl die Zündung früher als bei niedriger Motordrehzahl. In der Ruhelage ziehen Federn die Gewichte zum Mittelpunkt. Steigert sich nun die Drehzahl, so zieht die Fliehkraft die Gewichte nach außen, bis die Federkraft der Fliehkraft das Gleichgewicht hält. In einem Schlitz der Fliehgewichte ist ein Stift geführt, der die Verbindung zum oberen Teil der Verteilerwelle herstellt. Bewegen sich die Fliehgewichte nach außen, so wird über den Stift das obere Ende der Verteilerwelle gegenüber dem unteren Ende und damit der Nocken gegenüber dem Antrieb verdreht. Der Zeitpunkt der Öffnung des Unterbrecherkontaktes wird verschoben. Eine Zusatzverstellung kann auch durch den Unterdruck im Ansaugrohr des Motors gesteuert werden. Durch den Unterdruck, der hinter der Drosselklappe im Ansaugrohr entsteht (s. S. 600), wird dabei eine Membran gekrümmt und diese Bewegung auf die Unterbrecherplatte übertragen. Dadurch wird die Stellung des Unterbrecherhebels gegen die Nocken verschoben und der Zündzeitpunkt verstellt. Diese Verstellung wirkt sich besonders bei nicht ganz geöffneter Drosselklappe (im Teillastbereich) aus, während die Zündverstellung durch die Fliehgewichte drehzahlabhängig ist.

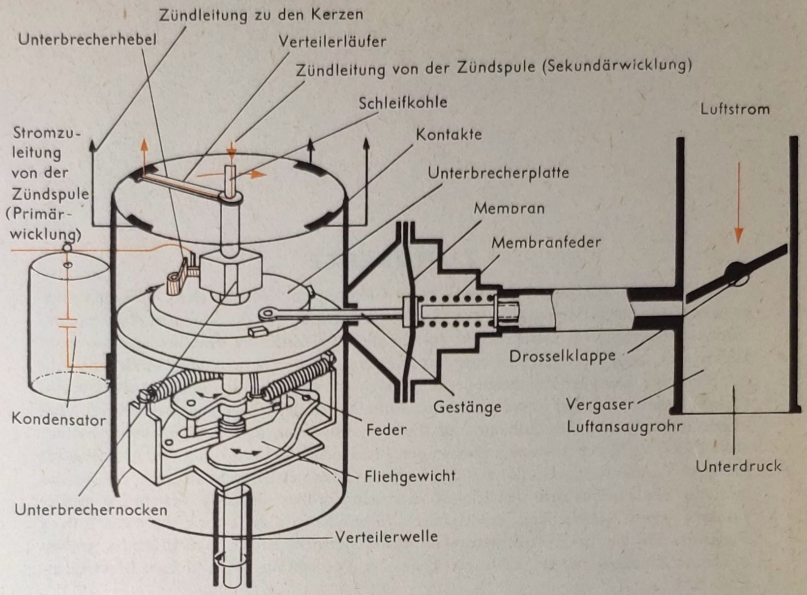


Abb. 1 Verteiler mit Unterdruckversteller

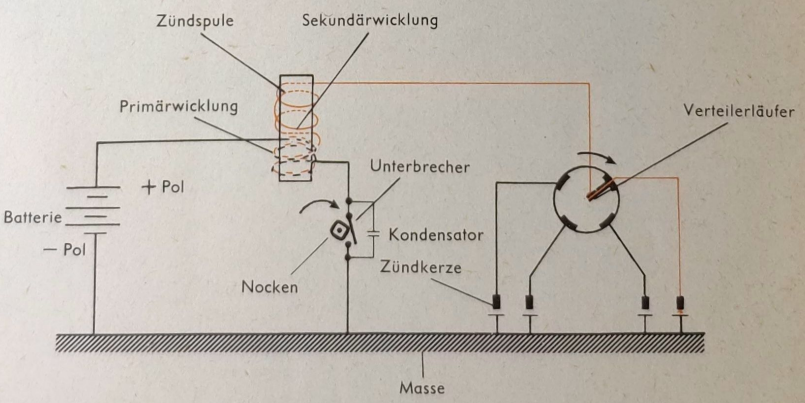


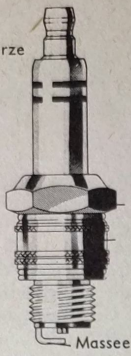
Abb. 2 Schema der Wirkungsweise des Unterbrechers und Verteilers

ZÜNDKERZE

Die Zündkerzen entzünden das verdichtete Gemisch im Zylinder eines Verbrennungsmotors durch einen Funken, der von der Mittelelektrode auf die sogenannte Masseelektrode überspringt. Im wesentlichen besteht die Zündkerze aus den beiden genannten Elektroden, dem Isolierkörper und dem Kerzengehäuse mit Schraubgewinde und Anschlußmutter. Der vom Zündverteiler (s. S. 604) kommende Zündstrom fließt über die Anschlußklemme und den Zündbolzen zur Mittelelektrode, bildet zwischen Mittel- und Masseelektrode den Zündfunken und fließt zur Masse ab. Die Zündspannung beträgt etwa 25000 Volt, der Abstand zwischen den Elektroden 0,6 bis 0,7 mm. Bei Motoren mit geringer Verdichtung, also da, wo die einzelnen Gasmoleküle nicht so stark zusammengedrängt sind, macht man den Elektrodenabstand größer; dadurch entsteht ein großer Funken, dessen Möglichkeit, das Gemisch zu zünden, größer ist als die eines kurzen Funkens. Da ein hochverdichtetes Gas dem überspringenden Funken einen großen Widerstand entgegensetzt, wählt man bei hoher Verdichtung einen kleinen Elektrodenabstand.

Maßgebend für die Wahl einer Zündkerze ist deren Wärmewert, der das Wärmeverhalten der Kerze kennzeichnet. Er wird in einem Prüfmotor unter genau festgelegten Bedingungen bestimmt. So besagt ein Wärmewert von 95, daß in dem Prüfmotor nach 95 Sekunden Glühzündung auftritt. Kerzen mit hohem Wärmewert, also solche, die thermisch hoch belastet werden können und trotzdem kalt bleiben, haben wegen der erforderlichen besseren Wärmeabfuhr einen kleineren Isolierkörper als die Kerzen mit niedrigem Wärmewert.

Abb. 1
Moderne Zündkerze



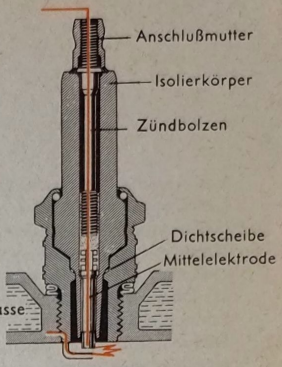


Abb. 2
Zündkerze mit ihren Einzelteilen (richtiges Funktionieren)

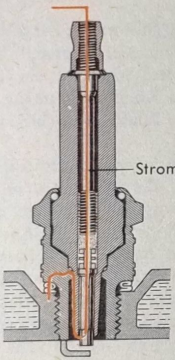


Abb. 3
Isolierkörper verschmutzt

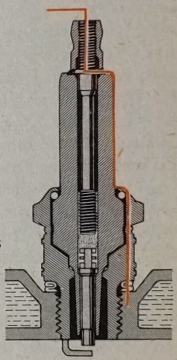


Abb. 4
Oberer Teil des Isolierkörpers verschmutzt

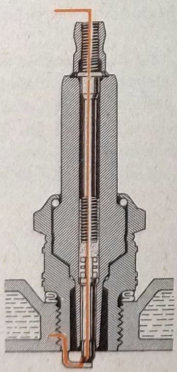


Abb. 5
Funkenstrecke überbrückt

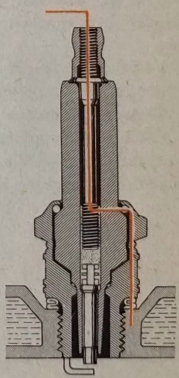


Abb. 6
Isolierkörper gebrochen

Gestörter Stromverlauf (Abb. 3–6)

KUPPLUNG

Verbrennungsmotoren müssen eine gewisse Mindestdrehzahl (etwa 300–600 U/min) haben, bevor sie von selbst laufen und ein zum Antrieb des Fahrzeuges genügend großes Drehmoment abgeben. Beim Stillstand des Fahrzeugs ist es erforderlich, den laufenden Motor mit Hilfe der Kupplung vom Getriebe zu trennen (Abb. 1). Beim Anfahren muß die Kupplung die zunächst stillstehende Eingangswelle ins Getriebe allmählich auf die Drehzahl der Motorwelle bringen, wobei sie unter mehr und mehr abnehmendem Schlupf (Drehzahlunterschied zwischen Motorwelle und Getriebeeingangswelle) ein Drehmoment (S. 580) übertragen muß. Sofern das Getriebe (s. S. 612 ff.) formschlüssige Schaltelemente besitzt, wird auch zum Schalten der Gänge, d.h. zur Veränderung der Getriebeübersetzung, das kurzzeitige Trennen des Motors vom Getriebe mit Hilfe der Kupplung erforderlich.

In der gebräuchlichsten Kupplung wird die Verbindung der Motorwelle mit der Getriebewelle durch Reibung zweier oder mehrerer Scheiben aufeinander hergestellt. Der beim Angleichen der beiden Drehzahlen auftretende Schlupf (das „Schleifen" der Kupplung) führt zur Wärmeentwicklung. Diese ist beim normalen Kupplungsvorgang vernachlässigbar; schleift die Kupplung jedoch längere Zeit, so führen die Schleifwirkungen sehr schnell zur Zerstörung des Kupplungsbelages.

Meistens werden heute trockene Einscheibenkupplungen verwendet. Bei diesen Konstruktionen ist eine Mitnehmerscheibe aus Stahlblech, die beiderseits aufgenietete, segmentförmige Kupplungsbeläge trägt, auf der Kupplungswelle drehfest, aber axial verschiebbar angeordnet (Abb. 2). Die Kupplungswelle ist gleichzeitig die Abtriebswelle der Kupplung zum Getriebe. Die Mitnehmerscheibe wird durch Druckfedern zwischen die Schwungscheibe und den Kupplungsring gedrückt. Dieser Kupplungsring ist axial verschiebbar angebracht, ist aber durch Mitnehmer so mit dem Gehäuse verbunden, daß er die Drehbewegung des Gehäuses jederzeit mitmachen muß. Am Kupplungsring greift der Ausrückhebel an, der mit seinem anderen Ende durch die verschiebbare Ausrückmuffe bewegt wird. Beim Ausrücken der Kupplung schiebt sich die Ausrückmuffe auf den Motor zu, wodurch die Ausrückhebel den Kupplungsring gegen die Federkraft der Druckfedern abheben: Die Verbindung zwischen Motor und Getriebe ist unterbrochen.

Aus der Einscheibenkupplung ist die Mehrscheibenkupplung hervorgegangen (Abb. 3). Auch hier ist die Kupplung in das Motorschwungrad eingebaut. In diesem Gehäuse liegen die Antriebslamellen — drehfest mit dem Gehäuse verbunden, aber axial verschiebbar —, die einen Kupplungsbelag tragen. Die Abtriebslamellen sind am Druckteller befestigt, auf den auch die Andruckfeder wirkt. Der Druckteller sitzt direkt, aber zum Ausrücken der Kupplung axial verschiebbar (Abb. 3b), auf der Abtriebswelle.

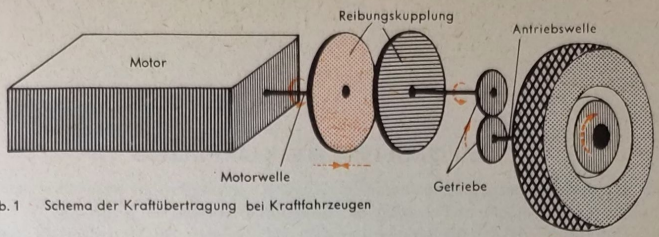


Abb. 1 Schema der Kraftübertragung bei Kraftfahrzeugen

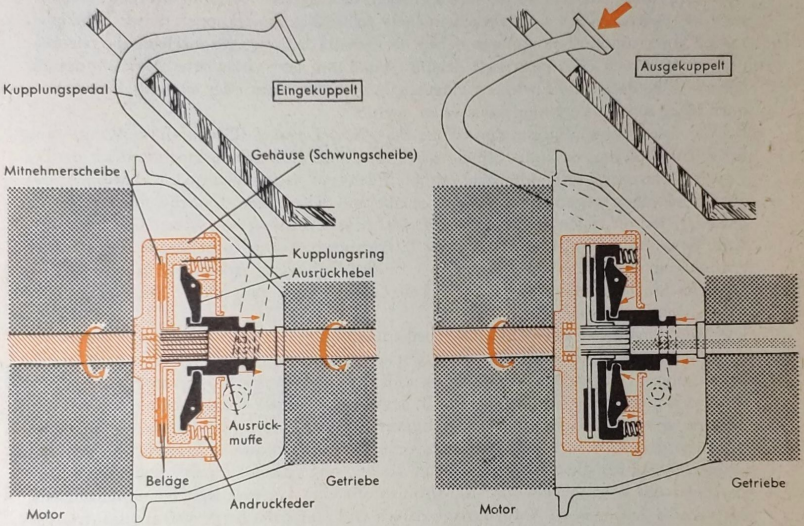


Abb. 2 Trockene Einscheibenkupplung

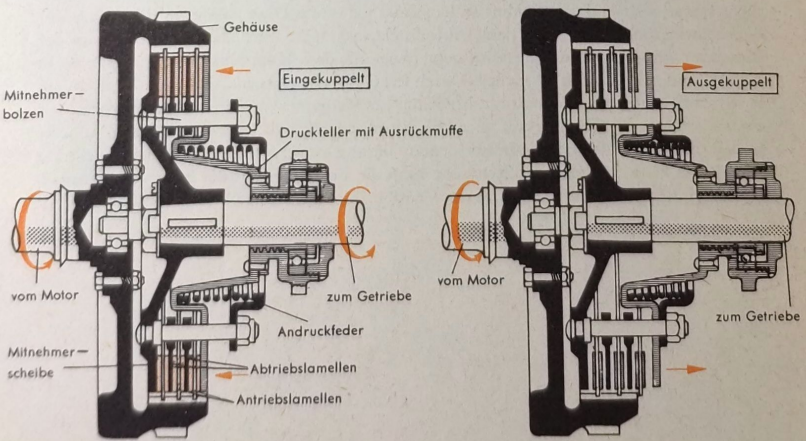


Abb. 3 Trockene Mehrscheiben- (Lamellen-)Kupplung

AUTOMATISCHE KUPPLUNG

Eine in einem Fahrzeug eingebaute automatische Kupplung erhöht wesentlich den Fahrkomfort gegenüber einem Fahrzeug mit normaler fußbetätigter Kupplung (s. S. 608). Das Kupplungspedal im Wageninnern entfällt, da einerseits bei Motorleerlauf, andererseits bei Anfassen des Getriebeschalthebels selbsttätig ausgekuppelt wird. Prinzipiell weisen automatische Kupplungen neben der Schaltkupplung, die mechanisch, pneumatisch, hydraulisch oder elektrisch betätigt sein kann, eine zusätzliche Anfahrkupplung auf, die z.B. durch die Fliehkraft eingeschaltet werden kann oder auch als Strömungs- oder Magnetpulverkupplung konstruiert wird.

Bei der Saxomatkupplungsautomatik ist die *Anfahrkupplung* (Fliehkraftkupplung) eine Scheibenkupplung, die kraftschlüssig wird, sobald die Rollenfliehgewichte durch die bei Überschreiten der Leerlaufdrehzahl erhöhte Fliehkraft nach außen gedrückt werden und die Anpreßplatte gegen die Mitnehmerscheibe und diese gegen das Schwungrad pressen (Abb. 1). Bei niedrigen Drehzahlen löst sich diese Kupplung von selbst. Um in diesem Falle beim Bergabfahren trotzdem eine Motorbremswirkung zu haben, ist ein Freilauf (Abb. 2) eingebaut, der durch sein Gesperre die Verbindung zwischen Kurbelwelle und Getriebe-Antriebswelle herstellt, sobald die Getriebewelle eine höhere Drehzahl als die Kurbelwelle annehmen will.

Die *Schaltkupplung* ist ebenfalls eine Scheibenkupplung, die beim Anfahrvorgang immer eingekuppelt ist und durch eine unterdruckgesteuerte Servoeinrichtung betätigt wird. Bei Berühren des Schalthebels (Abb. 3) wird ein Kontakt geschlossen und dadurch ein Elektromagnet unter Strom gesetzt. Er bewegt das Ventil a nach rechts, so daß das Motorsaugrohr mit der Servoeinrichtung verbunden ist. Ihre Membran unterliegt jetzt einerseits dem Unterdruck, andererseits dem Atmosphärendruck, wodurch sie den Betätigungshebel für die Schaltkupplung in die Stellung „ausgekuppelt" zieht. Nach dem Loslassen des Schalthebels wird die Stromzufuhr zum Elektromagneten unterbrochen, das Ventil a geht in seine Ausgangslage zurück und trennt das Servosystem vom Ansaugrohr. Über eine Düse, die wegen ihrer feinen Bohrung den bisher geschilderten Vorgang nicht störte, strömt die Außenluft so langsam, wie es die Düse zuläßt, in den Raum der Servoeinrichtung, der bisher dem Unterdruck ausgesetzt war. Da jetzt beiderseits der Membran gleicher Druck herrscht, geht diese mit dem Kupplungsbetätigungshebel in die Stellung „eingekuppelt" zurück. Durch Betätigen des Gaspedals wird das Einkuppeln beschleunigt, da sich der dabei im Lufttrichter des Vergasers entstehende Unterdruck über eine besondere Rohrleitung auf eine Hilfsmembran auswirkt, die das Ventil b anhebt, so daß die Außenluft über die freiwerdende Öffnung viel rascher in die Servoeinrichtung einströmen kann. Mit einer Stellschraube kann die Vorspannkraft der Feder des Ventils b und damit der Unterdruck, bei dem das Ventil b abhebt, eingestellt werden.

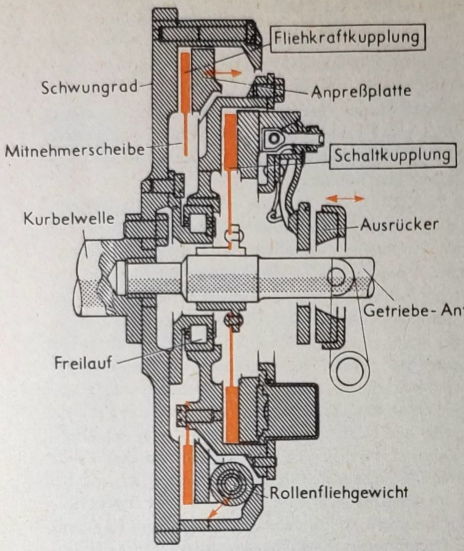


Abb. 1 Saxomatkupplungsautomatik

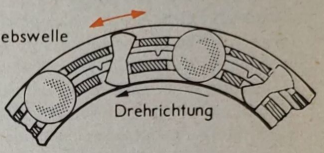


Abb. 2 Freilauf mit Gesperre

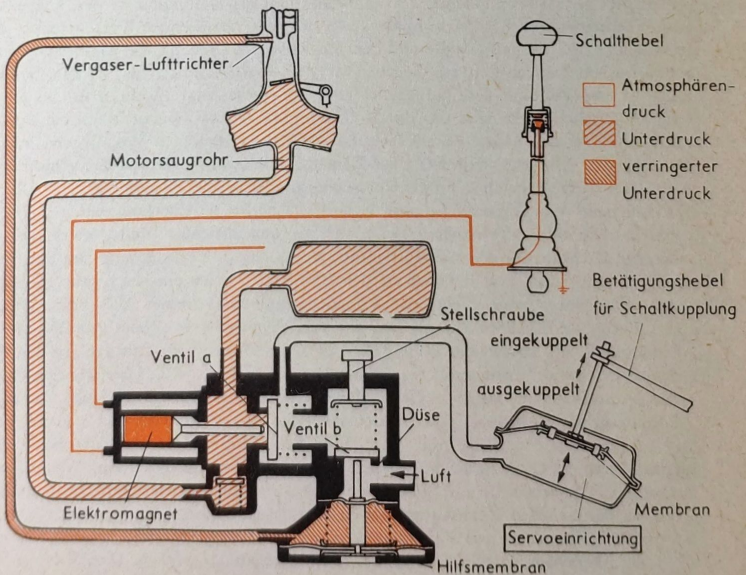


Abb. 3 Funktionsschema der Saxomatkupplungsautomatik

WECHSELGETRIEBE

Die bei Kraftfahrzeugen allgemein verwendeten Verbrennungsmotoren geben ihre Leistung meist bei hohen Drehzahlen ab (etwa 4000 bis 6000 Umdrehungen pro Minute). Dies zwingt zu einer Herabsetzung der Drehzahl zwischen Kurbelwelle und Antriebswelle der Triebräder. Da außerdem das vom Motor abgegebene Drehmoment (s. u.) nur in geringen Grenzen veränderlich ist, muß das Übersetzungsverhältnis beim Fahrbetrieb veränderlich sein, damit die an den Rädern wirksam werdenden Antriebskräfte den verschiedenen Fahrwiderständen angepaßt werden können.

Im Achsantrieb (s. Ausgleichgetriebe S. 622) ist ein Teil der erforderlichen Gesamtübersetzung untergebracht. Die übrige erforderliche wechselnde Übersetzung kann mit dem Wechselgetriebe eingestellt werden. Außerdem ermöglicht das zwischen Kupplung (s. S. 608) und Achsantrieb eingebaute Wechselgetriebe die Rückwärtsfahrt. Da das Wechselgetriebe durch die eingeschalteten Zahnradübersetzungen das Drehmoment verändert, wirkt es als sogenannter Drehmomentwandler. Das Übersetzungsverhältnis ist abhängig von dem Größenverhältnis der beiden im Eingriff befindlichen Zahnräder: Ein Zahnrad, das sich auf einer Welle mit einer bestimmten Drehzahl dreht, treibt eine andere Welle, auf der ein halb so großes Zahnrad befestigt ist, mit doppelter Drehzahl an. Da die Zahnradkräfte an beiden Zahnrädern gleich groß sind, ist das Drehmoment, das Produkt aus der tangential an einer Welle angreifenden Kraft und deren Abstand von der Drehachse der Welle, am halb so großen Zahnrad nur halb so groß wie am anderen. Dafür läuft aber dieses Rad mit doppelter Drehzahl. Sieht man von der Reibung ab, so wird bei einem Zahnradpaar, das miteinander im Eingriff steht, am kleineren Rad die höhere Drehzahl, dafür aber das niedrigere Drehmoment vorhanden sein; das größere Rad läuft langsamer, überträgt aber das größere Drehmoment. Das Übersetzungsverhältnis ist das Verhältnis der Eingangsdrehzahl zur Ausgangsdrehzahl; in umgekehrtem Verhältnis stehen die Teilkreisdurchmesser der Zahnräder und die Drehmomente der Wellen.

Ein Wechselgetriebe besteht normalerweise aus dem antreibenden Wellenstumpf (Antriebswelle), der Vorgelegewelle und der Abtriebswelle (Abb. 1), die parallel zur Fahrzeugachse im Getriebegehäuse liegen. Auf dem Wellenstumpf, der in das Gehäuse ragt, ist ein Zahnrad fest aufgekeilt. Es wird direkt vom Motor über die Kupplung angetrieben, dreht sich also mit Motordrehzahl. Dieses Zahnrad treibt ein zweites, etwas größeres an, das auf der im Gehäuse drehbar angebrachten Vorgelegewelle sitzt, wodurch die Vorgelegewelle mit einer kleineren Drehzahl als der Motordrehzahl läuft. Auf dieser Vorgelegewelle sind die Übersetzungsräder für die kleinen Gänge (1., 2. und 3. Gang beim Vierganggetriebe oder 1. und 2. Gang beim Dreiganggetriebe) fest angebracht. Die sog. Abtriebswelle des Getriebes, also diejenige Welle, welche die gewünschte Drehzahl auf den Achsantrieb überträgt, liegt in Verlängerung des antreibenden Wellenstumpfes. Auf ihr sind die den einzelnen Gängen entsprechenden Abtriebsräder verschiebbar angeordnet; die Vorgelegewelle läuft immer mit. Beim 1. Gang (Abb. 1) treibt ein kleines Zahnrad auf der Vorgelegewelle ein großes Zahnrad auf der Abtriebswelle an. Im zweiten Gang (Abb. 2) treibt ein größeres Zahnrad auf der Vorgelegewelle ein nur wenig größeres auf der Abtriebswelle an — die Drehzahl der Hinterräder ist etwas größer als im 1. Gang. Bei Getrieben mit 4 Gängen erzeugt ein drittes Zahnradpaar auf Vorgelege- und Abtriebswelle die Übersetzung für den 3. Gang. Beim sog. großen oder direkten Gang (Abb. 3) wird die Drehzahl des Motors ohne Untersetzung durch das Getriebe hindurchgeleitet. Beim Rückwärtsgang wird die Umdrehungsrichtung der Abtriebswelle durch Zwischenschaltung eines weiteren Zahnrades umgekehrt (Abb. 4). Bei manchen Wechselgetrieben besteht zusätzlich noch die Möglichkeit, durch ein großes Zahnrad auf der Vorgelegewelle und ein kleines Zahnrad auf der Abtriebswelle die Abtriebsdrehzahl größer als die Motordrehzahl zu machen. Dies bedeutet, daß trotz hoher Fahrgeschwindigkeit der Motor nur mit verhältnismäßig niedriger Drehzahl zu laufen braucht. Man nennt diesen Gang Schnellgang oder Schongang.

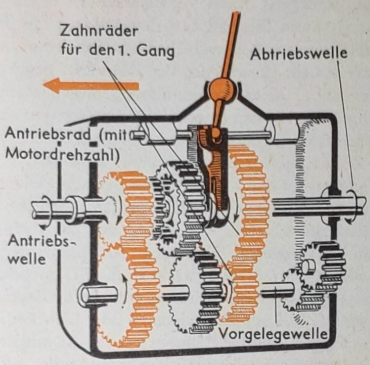


Abb. 1 Wechselgetriebe mit eingeschaltetem 1. Gang

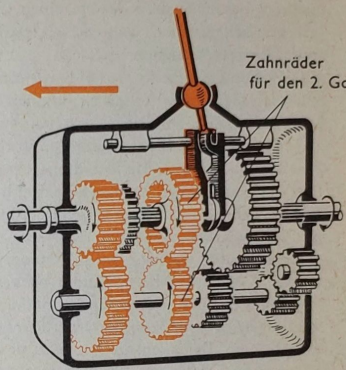
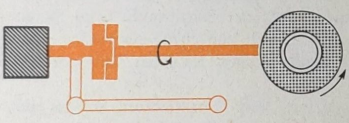
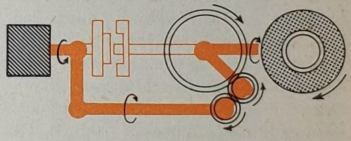


Abb. 2 Der zweite Gang





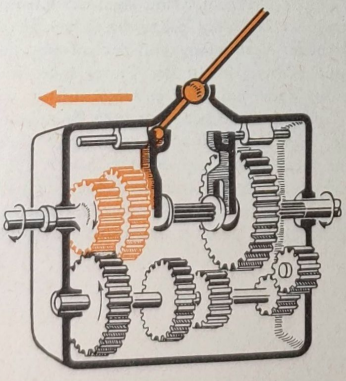


Abb. 3 Der dritte Gang (starre Verbindung zwischen Antriebs- und Abtriebswelle)

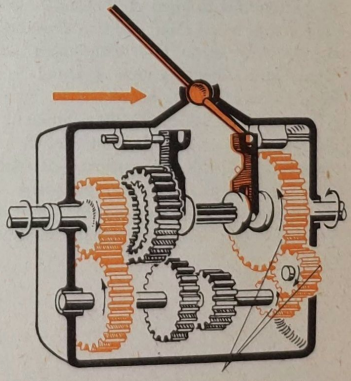


Abb. 4 Zahnräder für den Rückwärtsgang (Umkehrung der Drehrichtung der Antriebsachse)

SYNCHRONGETRIEBE

Der grundlegende Unterschied zwischen dem nicht synchronisierten Schalt- oder Wechselgetriebe (s. S. 612) und dem Synchrongetriebe (Abb. 1 und 4) besteht darin, daß bei ersterem beim Schalten der einzelnen Gänge Zahnräder durch Verschieben erst in Eingriff gebracht werden, während bei letzterem stets alle Zahnradpaare dauernd im Eingriff sind. Die verschiedenen Übersetzungen werden erst durch Verschieben von Schaltmuffen zur Wirkung gebracht. Da bei Synchrongetrieben ein Verschieben der Zahnräder gegeneinander nicht erforderlich ist, können ihre Zähne, um einen möglichst geräuscharmen Lauf zu erzielen, spiralig oder schräg verzahnt sein. Bei den einzelnen Zahnradpaaren ist z.B. das eine Rad drehfest mit der Vorgelegewelle verbunden, während sich das andere Rad auf der Hauptwelle lose drehen kann. Zum Einschalten eines Ganges wird das lose Rad des betreffenden Zahnradpaares durch Klauen auf der Welle drehfest gemacht. Diese Klauen befinden sich einerseits auf der Innenseite eines Ringes, des Klauenringes (Schiebemuffe), andererseits an dem einzuschaltenden Zahnrad. Der Klauenring sitzt axial verschiebbar, aber drehfest auf der Hauptwelle des Getriebes. Bevor aber die Klauen den starren Kraftschluß herbeiführen können, müssen der mit Hauptwellendrehzahl laufende Ring und das mit anderer Drehzahl laufende, einzuschaltende Zahnrad auf gleiche Drehzahl gebracht (synchronisiert) werden. Dies geschieht durch kleine Konus- oder Lamellenkupplungen. Bei Konuskupplungen ist dem einzuschaltenden Zahnrad ein kegelförmiger Vorsprung vorgebaut, der sich in eine kegelförmige Eindrehung der Schaltmuffe, auf welcher der Klauenring sitzt, einschiebt. Lamellenkupplungen bestehen aus kleinen Scheiben um die Welle, die durch den Anpreßdruck der Schaltmuffe beim Schalten zusammengepreßt werden und dadurch die beiden sich zunächst verschieden schnell drehenden Teile durch Abbremsen oder auch Beschleunigen des einen Teils gegenüber dem anderen zum Gleichlauf bringen.

Beim Einschalten eines Ganges wird der Klauenring (Abb. 2) in Richtung auf das einzuschaltende Zahnrad bewegt (Abb. 3). Dabei treten die oben beschriebenen Kupplungen in Aktion und bringen die beiden Teile auf gleiche Drehzahl. Dann kann der Klauenring weiter vorrücken und sich über die Mitnehmerklauen des Zahnrades ziehen, genau so, als wenn beide Teile stillständen. Die drehfeste Verbindung von der antreibenden Welle zum übersetzenden Zahnrad ist somit hergestellt. In der Praxis spürt man beim Einschalten des neuen Ganges zuerst einen Widerstand, der so lange auftritt, wie sich die beiden Teile noch hinsichtlich ihrer Drehzahl angleichen. Erst nach Beendigung dieses Vorganges kann die Schiebemuffe in ihre Endstellung gebracht und damit der Gang endgültig eingeschaltet werden. — Zu den einzelnen Gängen vgl. die Abb. 5–8, S. 617.

Im Automobilbau werden verschiedene Arten von Synchronisierungen gebaut, die prinzipiell mit der geschilderten Art übereinstimmen, die sich jedoch durch verschiedene Vorrichtungen (z.B. Sperrsynchronisation, Beispiel der Abb.) voneinander unterscheiden.

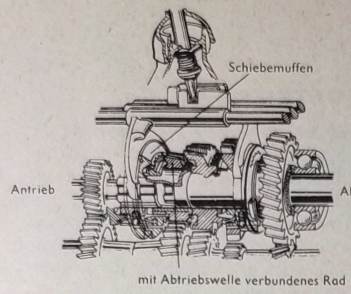


Abb. 1 Synchronisiertes Vierganggetriebe (eingeschaltet der 3. Gang)

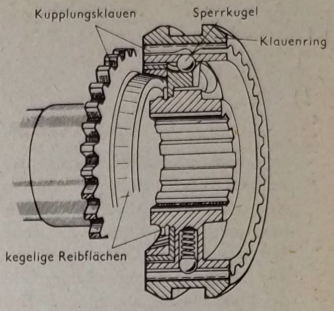


Abb. 2 Sperrsynchronisierung (Konuskupplung)

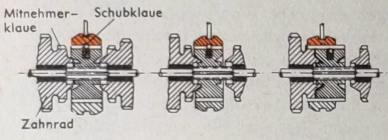
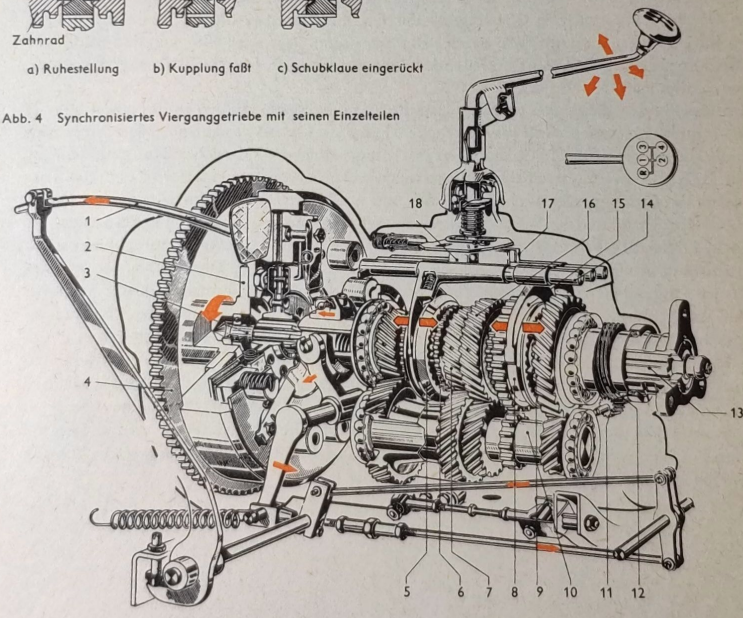


Abb. 3 Funktionsweise der Sperrsynchronisation

Abb. 4 Synchronisiertes Vierganggetriebe mit seinen Einzelteilen



1 Kupplungsfußhebel 2 Kurbelwelle 3 Antriebswelle 4 Anlaßzahnkranz 5 Schiebemuffe 3. und 4. Gang
6 Synchronkegel (Gleichlaufkegel) 7 Schraubenrad 3. Gang 8 Schiebemuffe 1. und 2. Gang 9 Schraubenrad 1. Gang
10 Vorgelegewelle 11 Antriebskleinrad (Tachometerantrieb) 12 Schraubenrad 13 Hauptwelle 14 Schaltstangen
15 Schaltgabel 1. und 2. Gang 16 Schraubenrad 2. Gang 17 Schaltkopf (Rückwärtsgang) 18 Schaltgabel 3. und 4. Gang

AUTOMATISCHES GETRIEBE I

Im europäischen Kraftfahrzeugbau vollzieht sich bei den größeren PKW-Typen eine Umstellung vom handgeschalteten Getriebe zum automatisch geschalteten Getriebe, das in amerikanische Personenkraftwagen fast ausschließlich eingebaut wird. Diese Entwicklung wird sich bei uns in der Zukunft stärker auswirken.

Das automatische Getriebe hat keinen Schalthebel mehr zur Betätigung der Einzelgänge. Die Geschwindigkeitsregelung über den gesamten Fahrbereich ist allein von der Stellung des Fußgashebels abhängig. Dafür muß aber gegenüber den herkömmlichen Zahnradgetrieben ein entsprechender zusätzlicher Aufwand gemacht werden. Solche Getriebeautomaten stellen eine Verbindung von hydraulischen und mechanischen Übertragungselementen dar.

Der hydraulische Teil besteht dabei aus Strömungskupplungen und Strömungswandlern, der mechanische aus Umlauf- oder Planetengetrieben. Die Wirkungsweise einer Strömungskupplung läßt sich am einfachsten am Verhalten zweier nahe beieinanderstehender Ventilatoren demonstrieren (Abb. 1): Einer der beiden Ventilatoren wird angetrieben und erzeugt einen Luftstrom, der den nicht angetriebenen Flügel des zweiten Ventilators in Drehung versetzt. Die Übertragung der Drehbewegung erfolgt hierbei nicht wie gewöhnlich durch Reibung (wie bei der Reibungskupplung; s. S. 608), sondern durch ein Medium; dieses Medium ist im Falle der Ventilatoren Luft, für eine Strömungskupplung verwendet man Öl.

In Kupplungen dieser Art werden Schaufelräder eingesetzt, von denen das eine (Abb. 2) als Pumpe, das andere als Turbine arbeitet. Die Pumpe wird direkt vom Motor angetrieben. Dabei wird das im Gehäuse der Kupplung stehende Öl nach außen geschleudert (Abb. 3). Da es am oberen Ende jedoch nicht ins Freie austreten kann, wird es in das Turbinenrad hineingepreßt, wo es umgelenkt und wieder in das Pumpenrad zurückgeschleudert wird. Durch das umlaufende Öl wird das Turbinenrad allmählich mitgenommen, bis es die Drehzahl des Pumpenrades angenommen hat. Durch Strömungskupplungen erreicht man somit ein stoßfreies Anfahren. Sie geben auch das gleiche Drehmoment ab wie der Motor, abgesehen von geringen Verlusten durch den sog. Schlupf, der davon herrührt, daß die Verbindung zwischen den Rädern nicht starr ist, sondern daß das Turbinenrad gleichsam etwas hinter dem Pumpenrad herläuft. Dieser Verlust ist bei geringen Drehzahlen wesentlich größer als bei hohen. Wichtige Bestandteile automatischer Getriebe sind auch die Planetengetriebe (Abb. 4). Sie bestehen aus einem zentral angeordneten Sonnenrad und einem oder mehreren in dieses eingreifenden Planetenrädern, die in einem Steg geführt werden und in diesem drehbar gelagert sind. Die Planetenräder wälzen sich auf einem Außen- oder Kronenrad ab. In Abb. 4 sind die Möglichkeiten dargestellt, die man mit einem derartigen Getriebe hat (vgl. auch S. 584).

Synchrongetriebe

Abb. 5 1. und 2. Gang

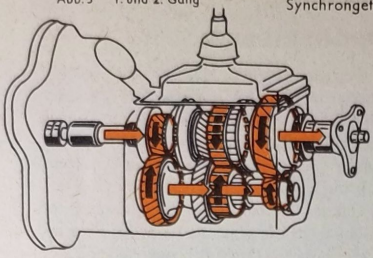


Abb. 7 4. Gang

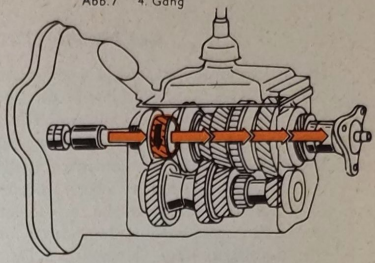


Abb. 6 3. Gang

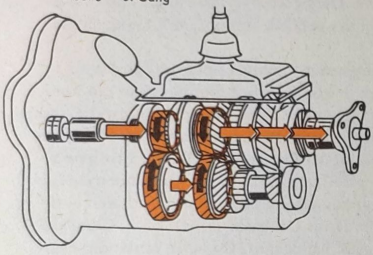
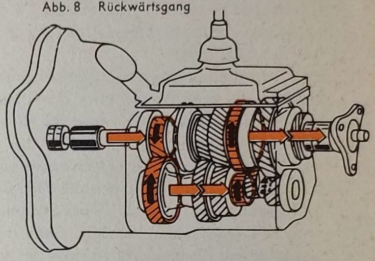


Abb. 8 Rückwärtsgang



Automatisches Getriebe

Abb. 1 Prinzip der Strömungskupplung

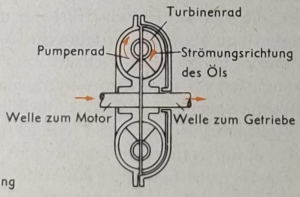


Abb. 2 Strömungskupplung (schematisch)

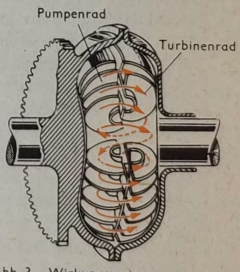
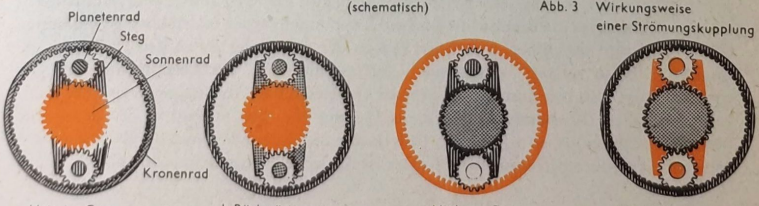


Abb. 3 Wirkungsweise einer Strömungskupplung



a kleinster Gang
Außenring blockiert

b Rückwärtsgang
Planetenträger blockiert

c Mittlerer Gang
Sonnenrad blockiert

d Schnellgang
Sonnenrad blockiert

Abb. 4 Planetengetriebe

AUTOMATISCHES GETRIEBE II

Die bekannteste Bauart eines automatischen Getriebes ist das Hydra-Matic-Getriebe (Abb. 5; Abb. 7, S. 621), das in der Nachkriegszeit in den USA in riesigen Stückzahlen gebaut wurde. Es besteht aus zwei Planetensätzen für die vier Vorwärtsgänge und einem für den Rückwärtsgang. Die Kraftübertragung geschieht durch eine Strömungskupplung. Das Getriebe schaltet automatisch in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit (Drehzahl der Abtriebswelle des Getriebes), Motorbelastung und Fußgasstellung (über einen Regler). Die Kraftübertragung erfolgt im mechanischen Teil des Getriebes über Planetensätze und über eine Strömungskupplung. Im 1. und 2. Gang geht die gesamte Leistung über die Strömungskupplung. Sie wird im 2. Gang mit einer höheren Drehzahl angetrieben als im 1. Gang, da hierbei der Planetensatz 1 blockiert ist. Die Schlupfverluste in der Strömungskupplung werden geringer. Andererseits gestattet der größere Schlupf im 1. Gang ein sehr weiches Anfahren.

Im 3. und 4. Gang dagegen ergibt sich eine Leistungsverzweigung. Dabei verteilt sich an der Stelle x die vom Motor über den Planetensatz 1 kommende Leistung über die Strömungskupplung auf das Sonnenrad (S) des Planetensatzes 2 und über die Hohlwelle und die geschlossene Kupplung K 2 auf das Außenrad (A) des Planetensatzes 2. Im Planetensatz 2 vereinigen sich die beiden Leistungszweige auf das Planetenrad (P). Die Strömungskupplung liegt im Nebenschluß. Der Schlupf wirkt sich dann nur auf die übertragene Teilleistung aus. Der Antrieb der Strömungskupplung erfolgt im 3. Gang durch den wirksamen Planetensatz 1 wie im 1. Gang mit verminderter Drehzahl (1,44). Im 4. Gang dagegen ist der Planetensatz 1 durch die Kupplung K 1 blockiert. Dadurch erhält die Strömungskupplung eine gegenüber dem 3. Gang höhere Betriebsdrehzahl, wodurch der Schlupf vermindert wird. In Parkstellung (Pa) werden B 2 und BR fest. Durch B 2 ist das Außenrad von PL 2 und damit das Sonnenrad von PLR blockiert. Mit BR wird das Außenrad von PLR fest, wodurch das dazwischen liegende Planetenrad ebenfalls feststehend wird. Hiermit ist der Antrieb zur Hinterachse blockiert.

Die Schaltvorgänge werden durch einen hydraulischen Regler gesteuert. In Abb. 6 sind die Vorgänge dargestellt, die sich beim Hochschalten in den nächsthöheren Gang ergeben. Der Fliehkraftregler wird von der Abtriebswelle des Getriebes angetrieben. Er enthält einen Fliehkraftkolben, der in einem Gehäuse exzentrisch und verschiebbar angeordnet ist. Die in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit auftretende Fliehkraft bewirkt über den Fliehkraftkolben eine geregelte Druckölzuführung zum Steuerventil. Dieser vom Fliehkraftregler geregelte Öldruck wirkt nun auf die eine Seite eines Kolbens, während auf der anderen Seite die Kraft einer Feder angreift. Zu dieser Federkraft kommt noch der Öldruck, der sich über den Lastregler mit Hilfe des Gaspedals einstellt. Überwiegt der durch den Fliehkraftregler gesteuerte Druck gegenüber dem durch den Lastregler gesteuerten, so gibt der Kolben im Steuerventil den Weg zum jeweiligen Planetensatz frei. Dabei wird die Bremse lose und die Kupplung fest, wie es den oben geschilderten Schaltvorgängen entspricht. Überwiegt jedoch der Druck des durch den Lastregler gesteuerten Öls, so verläuft der gesamte Vorgang rückläufig. Die Beeinflussung des Getriebes erfolgt also nur durch das Gaspedal (Lastregler) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Fliehkraftregler). Ist die Leitung vom Steuerventil zu dem jeweiligen Planetensatz drucklos, so wird durch Federkräfte die Bremse fest und die Kupplung lose gehalten. Ein solcher hydraulischer Regler ist für jeden Planetensatz vorhanden.

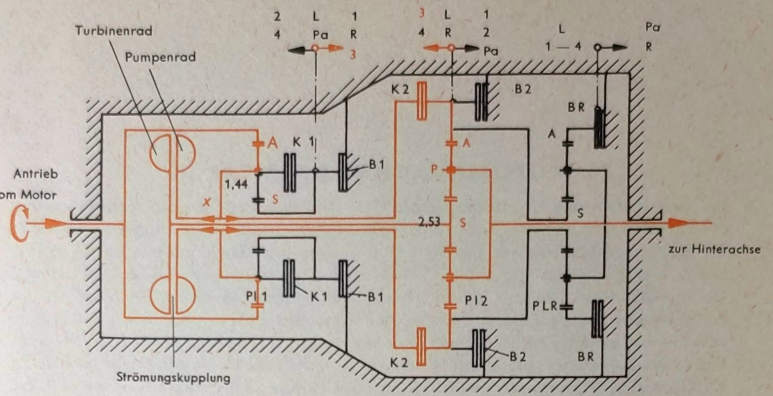


Abb. 5 Schema des Hydra-Matic-Getriebes, Kraftfluß im 3. Gang

Schaltungen des Getriebes (Abb. 5) in den einzelnen Gängen:

Leerlauf:	Alle Bremsen (B) und Kupplungen (K) lose
1. Gang:	Beide Bremsen (B1, B2) fest, beide Kupplungen (K1, K2) lose; beide Planetenradsätze (PI 1, PI 2) sind wirksam. Übersetzung = 1,44 · 2,53 = 3,66
2. Gang:	Öldruck vom Regler auf PI 1, dadurch B1 lose, K1 fest Wirksam ist nur PI 2; PI 1 ist durch K1 blockiert. Übersetzung = 2,53
3. Gang:	Öldruck auf PI 2; dadurch B1 fest, K1 lose, B2 lose, K2 fest. Wirksam ist allein PI 1. Übersetzung = 1,44
4. (direkter) Gang:	Beide Bremsen lose, beide Kupplungen fest; Öldruck auf PI 1 und PI 2; PI 1 und PI 2 laufen blockiert um. Übersetzung = 1,0
Rückwärtsgang:	B1 fest, K1 lose; B2 und K2 lose; BR fest (bisher in den Gängen 1 - 4 im Leerlauf [L] immer lose). Hierdurch wird PI R wirksam, wodurch die Drehrichtung der Antriebswelle umgekehrt wird

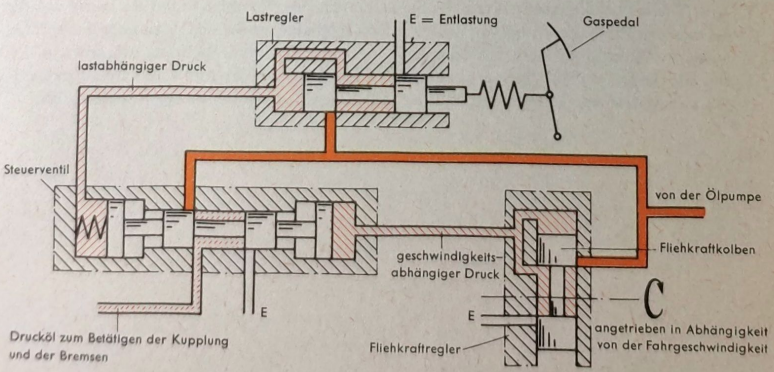
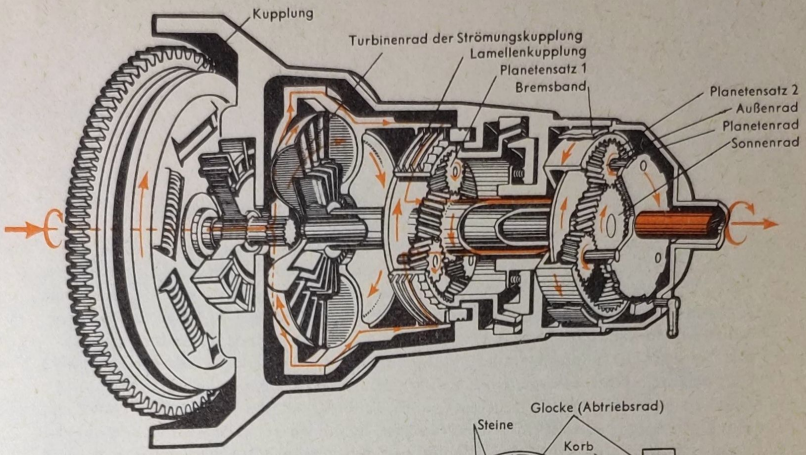


Abb. 6 Hydraulische Schaltanlage des Hydra-Matic-Getriebes

AUTOMATISCHES GETRIEBE III

Bei anderen Bauarten von automatischen Getrieben ist anstelle der Strömungskupplung ein Strömungsgetriebe oder ein hydraulischer Drehmomentwandler eingesetzt. Während die Strömungskupplung nur das vom Motor abgegebene Drehmoment auf das mechanische Getriebe überträgt, wandelt der Drehmomentwandler das kleine Drehmoment des schnellaufenden Motors in ein großes Drehmoment bei kleiner Drehzahl an der Abtriebswelle des Wandlers um. Ein solcher Wandler stellt also selbst eine Getriebestufe dar. Im Strömungsgetriebe befindet sich ein Pumpenrad, welches das Öl beschleunigt und in das Turbinenrad preßt. Der Wirkungsgrad einer solchen Anordnung ist bei kleinen Drehzahlen sehr gering, so daß man das aus der Turbine austretende Öl, bevor es in die Pumpe zurückströmt, durch ein Leitrad führt, dessen feststehende Leitschaufeln durch eine entsprechende Krümmung das Öl in die Pumpe so zurückführen, daß keine Verluste entstehen (Abb. 8). Die Leitschaufeln bewirken also durch die Strömungsumleitung, daß das kleine Drehmoment des schnell drehenden Motors in ein großes Drehmoment an der langsam drehenden Abtriebswelle des Wandlers umgewandelt wird, wodurch die Energie des aus der Turbine tretenden Öls nicht vernichtet, sondern wieder verwertet werden kann. Allmählich gleicht sich jedoch die Drehzahl des Turbinenrades der des Pumpenrades an. Dadurch wird der Wirkungsgrad wieder schlechter. Man hilft sich in diesem Fall mit unterschiedlichen Anordnungen. Zum einen kann man die Leitschaufeln verstellbar machen, d. h., man paßt die Ablenkung der Strömung der jeweiligen Drehzahl der Turbine an (bei stationären Anlagen), oder man verwendet einen Freilauf, der sich beim Anlaufen am feststehenden Gehäuse abstützt. Die Kraft, die den Freilauf festhält, entsteht durch die Differenz zwischen Motor- und Abtriebsdrehmoment. Werden diese beiden Momente jedoch gegen Ende des Anfahrvorganges gleich groß, so löst sich die Leitschaufel vom Gehäuse durch einen Freilauf und läuft mit dem Turbinenrad um. Der Wandler ist auf diese Weise zur Strömungskupplung geworden. Der Freilauf (Abb. 9) kann als Klemmrollenfreilauf ausgebildet sein. Das Gehäuse des Getriebes und der Korb des Freilaufs sind starr verbunden. Wirkt nun die Abstützkraft des Schaufelrades des Wandlers in der Richtung auf die Glocke des Freilaufs, wobei die Rollen in den schmaler werdenden Spalt gepreßt werden, so ist die Verbindung starr. Läßt die Kraft nach oder kehrt ihre Richtung um, so kann sich die Glocke frei drehen. Die nachgeschalteten Planetensätze der mit Wandlern ausgestatteten automatischen Getriebe (Abb. 10) übernehmen dann den Rest der Übersetzungen.

Abb. 7 Schnitt durch ein Hydra-Matic-Getriebe



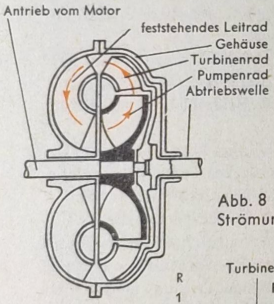


Abb. 8
Strömungswandler

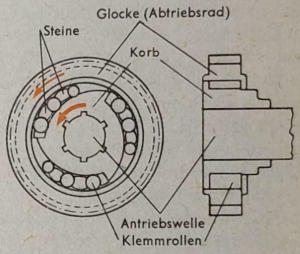


Abb. 9
Klemmrollenfreilauf

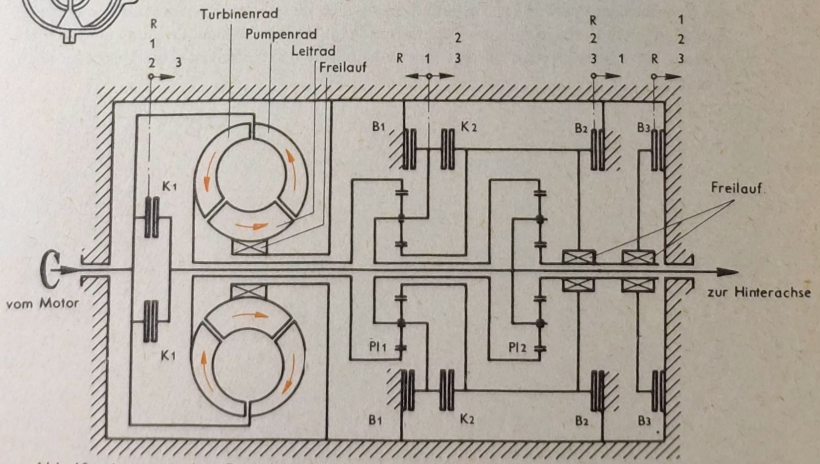


Abb. 10 Automatisches Getriebe mit Strömungswandler und Freilauf (Borg-Warner-Getriebe)

AUSGLEICHGETRIEBE (DIFFERENTIAL)

Die Antriebsräder eines Kraftwagens haben bei Kurvenfahrt unterschiedliche Drehzahlen, weil das innere Rad einen viel kleineren Weg zurücklegen muß als das äußere (Abb. 1). Daher ist es notwendig, den Antrieb der Räder nicht auf eine durchgehende Achse, sondern über ein Ausgleichgetriebe (Differential) wirken zu lassen, das eine geteilte Achse mit jeweils gleichem Drehmoment, aber verschiedenen Drehzahlen antreibt.

Die Kardanwelle (Antriebswelle und Verbindung der Hinterachse mit dem Getriebe) trägt an ihrem hinteren Ende ein kegelförmiges Zahnrad (Antriebskegelrad; Abb. 3). Es treibt ein anderes, größeres Kegelrad (großes Tellerrad) an, das lose auf einer Hälfte der Hinterachse sitzt, aber fest mit einem Gehäuse verbunden ist, in dessen Innerem die vier Ausgleichsräder angeordnet sind. Die Wellen, auf denen diese Ausgleichsräder sitzen, sind fest im Gehäuse gelagert. Dreht sich also das Gehäuse, so drehen sich diese Wellen um ihre Querachsen mit (Abb. 3 zeigt nur zwei der Ausgleichsräder).

Bei Geradeausfahrt (Abb. 3a) dreht sich das Gehäuse, die Ausgleichsräder drehen sich nicht auf ihren Wellen und nehmen, in der Wirkung gleich einer starren Verbindung, die Tellerräder, die fest mit den Halbachsen verbunden sind, mit. Beide Halbachsen drehen sich mit gleicher Geschwindigkeit.

In Abb. 3b dreht sich die rechte Halbachse langsamer als die linke. Nun drehen sich die Ausgleichsräder um ihre Welle mit der Wirkung, daß sie das rechte Tellerrad der Halbachse zurückhalten und gleichzeitig das linke Tellerrad schneller vorschieben. In Abb. 2 ist dieser Vorgang schematisch dargestellt: Die Zahnstangen symbolisieren die Tellerräder der Halbachsen. Bewegen sich beide Zahnstangen gleich schnell nach rechts, bildet das Ausgleichsrad eine starre Verbindung zwischen ihnen. Bremst man jedoch die untere Zahnstange etwas ab, so rollt das Zahnrad auf ihr ab und durch diese Drehung auch auf der oberen. Das ganze System bewegt sich in einer durch den Pfeil in Abb. 1 angedeuteten Kurve.

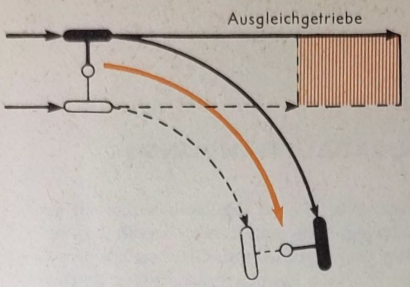


Abb. 1 Weglängenunterschiede bei Kurvenfahrt

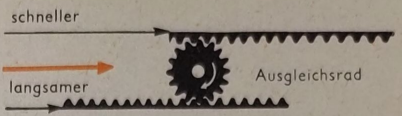


Abb. 2 Prinzip des Ausgleichs bei Kurvenfahrt

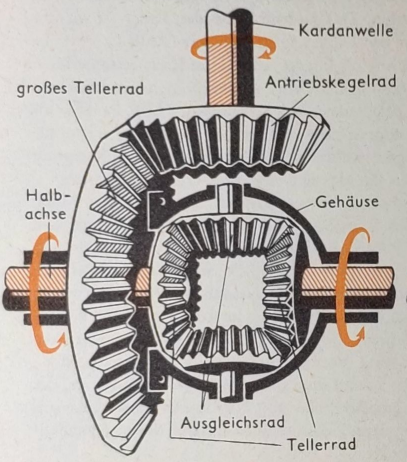


Abb. 3a Geradeausfahrt

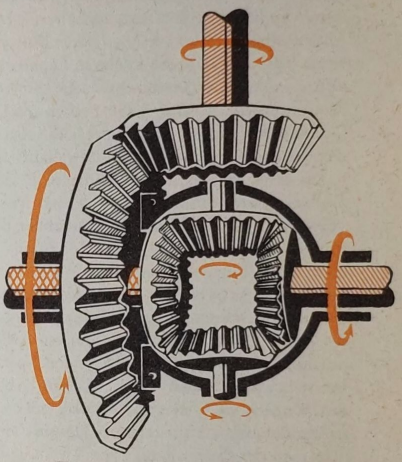


Abb. 3b Kurvenfahrt

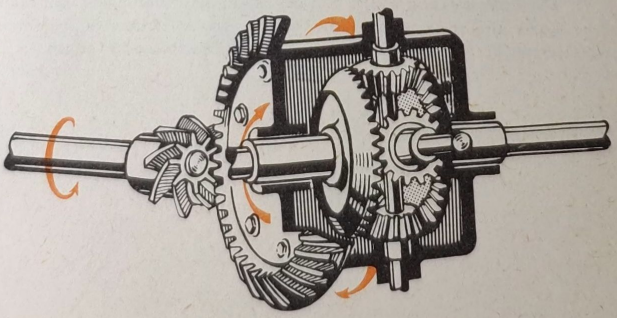


Abb. 4 Schrägansicht eines Ausgleichgetriebes

FEDERUNG, ACHSEN, RADAUFHÄNGUNG I

Federung

Durch die *Federung* sollen die kurzen, harten Stöße, die von der Fahrbahn her auf das Fahrzeug wirken, in weiche, gedämpfte Schwingungen umgewandelt werden, so daß nur kleine Kräfte auf den Wagenkörper selbst übertragen werden. Gleichzeitig soll vermieden werden, daß sich die Räder von der Fahrbahn bei plötzlichen Stößen abheben (Sicherung der Bodenhaftung).

Die *Blattfederung* ist das älteste, auch heute noch sehr häufig angewendete Federungssystem. Sie ist aus mehreren übereinanderliegenden Federblättern zusammengesetzt, die durch Federbügel zusammengehalten werden. Das längste Blatt der Feder ist an den Enden eingerollt und kann so den Bolzen zur Lagerung aufnehmen (Abb. 1). Auf der einen Seite ist die Feder in einem Lagerbock fest gelagert, auf der anderen Seite befindet sich eine Federlasche, durch welche die Längung der Feder aufgenommen werden kann. Meist werden halbelliptische Federn als Längsfedern bei Starrachsen (Abb. 2) oder als Querfedern (Abb. 3) verwendet. Bei Längsfedern sind die Enden eingespannt, wobei die abzufedernden Massen in der Mitte aufliegen, während bei Querfedern die Befestigung in der Mitte erfolgt, so daß die freien Enden die Massebewegungen abfedern können.

Schraubenfedern werden im modernen Personenkraftwagenbau in zunehmendem Maße verwendet. Sie zeichnen sich gegenüber den Blattfedern durch geringeres Gewicht und größere Wartungsfreiheit aus. Allerdings haben sie nicht wie jene noch schwingungsdämpfende Eigenschaften (Abb. 4). Erwünscht sind Federn, die bei geringer Belastung weich sind, bei größerer Belastung aber härter werden. Man nennt eine Feder härter als eine andere, wenn eine größere Kraft als bei der weicheren Feder erforderlich ist, sie um dasselbe Stück zu verkürzen oder zu verlängern. Bei einer Schraubenfeder besteht Proportionalität zwischen einwirkender Kraft und Verkürzung bzw. Verlängerung, d. h., sie ist bei jeder Belastung gleich hart. Abb. 5 zeigt eine progressiv wirkende Feder, die den Wunsch nach steigender Härte bei steigender Belastung erfüllt. Bei ihr kommt mit steigender Belastung zuerst die Hauptfeder, dann außerdem die Zusatzfeder und schließlich noch der Gummipuffer zur Wirkung.

Abb. 6 zeigt das Funktionsprinzip einer *Drehstabfederung*. Beim Einbau wird eine Seite des Drehstabes im Rahmen eingespannt, während die andere mit einem Hebelarm (Längslenker) verbunden ist. Durch den Hebel werden die Federwirkungen auf das Rad übertragen (Abb. 7). Die Federwirkung hängt von der Stärke des Drehstabes und seiner Länge ab; dicke, kurze Drehstäbe wirken am härtesten. An die Stelle von Drehstäben mit rundem Querschnitt können auch Drehstabbündel aus Federbandstahl treten.

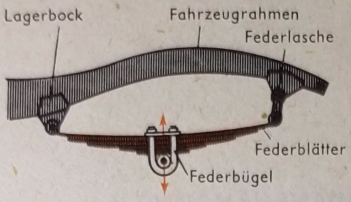


Abb. 1 Blattfederung

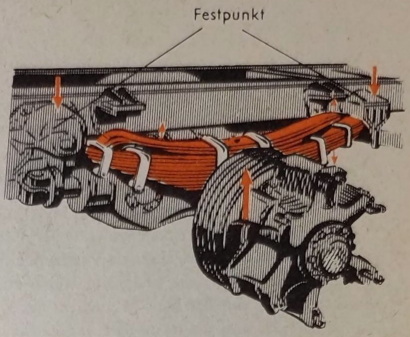


Abb. 2 Längsfeder einer Starrachse

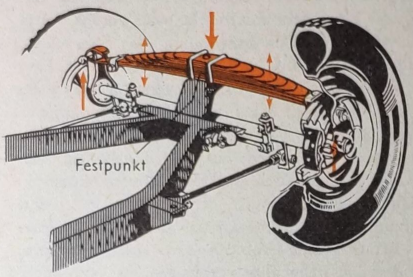


Abb. 3 Querfeder (Schwebeachse)

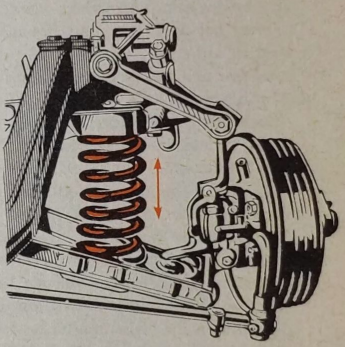


Abb. 4 Abfederung durch Schraubenfedern

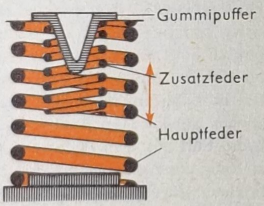


Abb. 5 Schraubenfeder mit progressiver Zusatzfeder

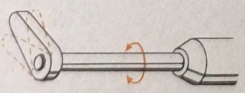


Abb. 6 Prinzip der Drehstabfederung

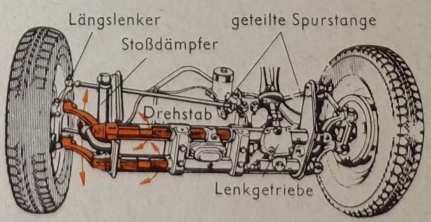


Abb. 7 Vorderachse mit Drehstabfederung

FEDERUNG, ACHSEN, RADAUFHÄNGUNG II

Bei der *Luftfederung* werden die Federkräfte von einem mit Druckluft gefüllten Raum aufgenommen, der entweder von einem Zylinder und einem darin verschiebbaren Kolben gebildet wird oder aber als zusammendrückbarer Federbalg konstruiert ist. Sie bietet die Möglichkeit, die Federung weich zu halten, sie der Belastung anzupassen und die Bewegung des Aufbaus — auch in der Kurve — zu vermindern. Dadurch werden Fahrsicherheit und Fahrkomfort wesentlich verbessert. Der Innenraum (das Druckluftvolumen) ist je nach Bauart der Federung mit Druckluft von 2 bis 8 atü gefüllt. Der Kolben ist direkt mit den abzufedernden Massen verbunden, die versuchen, den Kolben weiter in den Zylinder hineinzustoßen. Die Luft wird dabei noch mehr komprimiert und stemmt sich dieser Bewegung entgegen. Der Wulstbalg (Abb. 8), der nur Verschiebungen in Richtung seiner Längsachse aufnehmen kann, wird hauptsächlich zusammen mit Starrachsen verwendet. Damit keine Schubkräfte auftreten können, müssen bei dieser Federart besondere Führungen angebracht werden (Abb. 9). Jeder Balg ist mit einem Zusatzluftbehälter verbunden, der dafür sorgt, daß sich im Balg selbst stets eine genügende Luftmenge befindet. Beim Rollbalg (Abb. 10) ist ein kolbenförmiger Abrollkörper durch den Balg direkt mit dem Zusatzbehälter verbunden. Er kann auch Querkräfte aufnehmen, ist also auch im Zusammenhang mit Einzelradaufhängungen und Pendelachsen verwendbar (Abb. 11). Abb. 12 zeigt schematisch den Einbau von Luftfederungen. Durch das Luftausgleichsventil (Höhen- bzw. Niveauregler) wird selbsttätig immer die gleiche Bodenfreiheit gehalten. Über ein Gestänge ist der Niveauregler mit der Achse verbunden. Wird die Achse stärker belastet, so bewegen sich die Stange und damit die Kolben im Niveauregler nach oben, wodurch die Luft vom Kompressor und Vorratsbehälter in den Federbalg strömen kann, bis sich der Aufbau so weit angehoben hat, daß die zuströmende Luft durch den Kolben im Niveauregler wieder abgesperrt wird. Bei einer Entlastung der Achse bzw. bei einem Anheben des Aufbaus gibt der Kolben im Niveauregler eine Öffnung frei, durch die Luft aus dem Federbalg ins Freie abgeblasen werden kann, bis wieder die Normalstellung des Fahrzeugbaus erreicht ist, wodurch die Kolben im Niveauregler wieder ihre Mittelstellung einnehmen. Man kann den Höhenregler mit einer Dämpfungseinrichtung versehen. Diese sorgt für eine gewisse Verzögerung beim Ansprechen des Reglers. Die Höhenregulierung reagiert dann nicht auf Fahrbahnstöße kurzer Dauer. Außerdem verhindert die Dämpfung das dauernde Pendeln des Reglers um die Normalstellung, d.h. das dauernde Hin- und Herschalten zwischen dem Zuströmen der Luft in die Luftfeder und dem Abströmen.

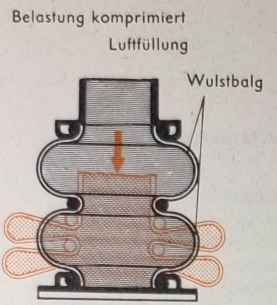


Abb. 8 Luftfederung mit Wulstbalg

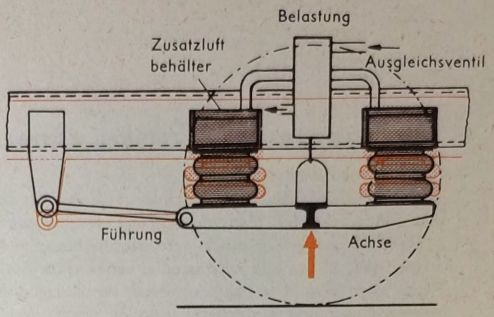


Abb. 9 Einbaubeispiel einer Wulstbalgfederung

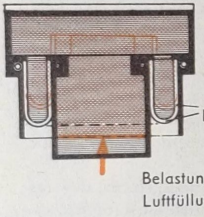


Abb. 10 Rollbalg mit innerer und äußerer Führung

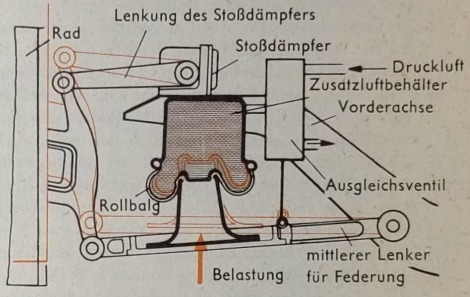
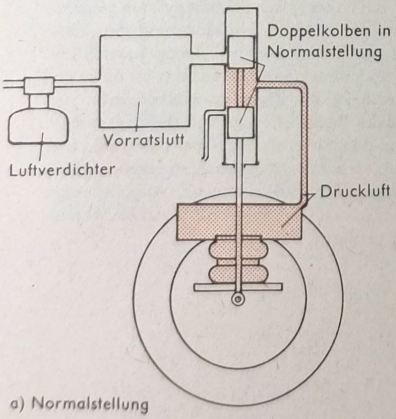


Abb. 11 Einbaubeispiel einer Rollbalgfederung



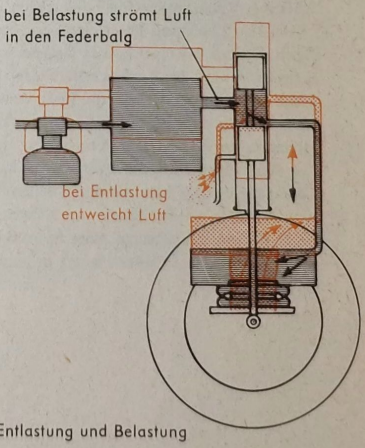


Abb. 12 Ausgleichsventil einer Luftfederung (Niveauregler)

FEDERUNG, ACHSEN, RADAUFHÄNGUNG III

Achsen und Radaufhängung

Achsen und Radaufhängung bestimmen die Art der Beweglichkeit der Räder gegenüber dem Fahrzeugkörper. Man unterscheidet verschiedene Bewegungen der Räder (Abb. 13): a) Das Rad bewegt sich nur in vertikaler Richtung in seiner Ebene gegenüber dem Fahrzeugkörper; b) das Rad wird parallel verschoben (Spuränderung); c) die Winkellage des Rades gegenüber dem Fahrzeugkörper wird verändert (Sturzänderung); d) gleichzeitig werden Ebene und Winkellage verändert (Spur- und Sturzänderung). Um beim Federn die beschriebenen Lageänderungen des Rades möglichst auszuschalten, sind für Achsen und Radaufhängungen verschiedene Bauarten üblich.

Starrachsen (Abb. 14) haben gemeinsame Aufhängung und Abfederung beider Räder. Sie werden hauptsächlich bei schweren Fahrzeugen, und zwar meist als Hinterachsen, verwendet. Sie bestehen häufig aus einem geschweißten, zweiteiligen Blechgehäuse. Wird ein Rad durch Unebenheiten der Fahrbahn angestoßen, so führt dies zur Schrägstellung der ganzen Achse, wodurch die beiden Federn ungleich beansprucht werden. Die Spurweite verändert sich beim Schrägstellen der Achse nicht, jedoch ändert sich der Sturz der Räder. Eine *Schwebeachse* (Abb. 15) ist eine Starrachse mit hochgezogener, querliegender Feder. Legt man bei ihr den Federanschlag in die Höhe des Fahrzeugschwerpunktes, so kann man erreichen, daß bei der Kurvenfahrt keine Fahrzeugneigung auftritt. Die Schwebeachse hat deshalb eine besonders gute Kurvenstabilität.

Schwingachsen haben unabhängige Einzelradaufhängung und -abfederung, so daß nur das angestoßene Rad seine Lage verändert. Bei normalem Hinterradantrieb wird für Einzelradaufhängungen meist die Eingelenk-Pendelachse (Abb. 16) eingebaut (auch Querlenker genannt). Der Nachteil dieser Achse ist die Spuränderung beim Durchfedern, weshalb sie auch als Lenkachse (Vorderachse) nicht verwendet wird.

Will man Querlenker für Lenkachsen einsetzen, so benutzt man sog. Doppelquerlenker (Abb. 18). Dies sind Parallelachsen, durch die die Räder genau parallel geführt werden. Beim Federn tritt auch hier Spuränderung, bei Kurvenfahrt Sturzänderung auf. Eine weitere Bauart der Lenkachsen ergibt sich aus der Verwendung von Doppelquerfedern (Abb. 17). Je größer hier die Federausschläge sind, um so größer werden dann die Spur- und Sturzänderungen. Bei Längslenkern schwingen die Räder an Kurbelarmen, die einerseits am Rahmen, andererseits an der Achse des Rades befestigt sind (Kurbelachsen). Die Kurbelarme können einfach (Abb. 19) oder doppelt vorhanden sein (Abb. 20). Die Federung erfolgt hier meist mit einem Drehstab (s. S. 624). Kurbelachsen ergeben daher beim Federn weder Sturz- noch Spuränderungen. Die Hülsenführung (Abb. 21) zeigt beim Federn keine Sturz- oder Spuränderungen, jedoch beim Kurvenfahren. Die Schraubenfeder wird bei dieser Bauart in einer Hülse geführt.

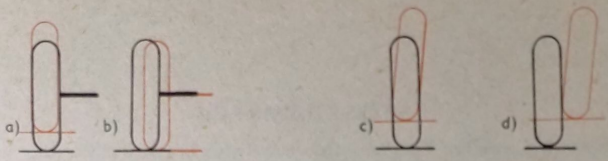


Abb. 13 Radbewegungen

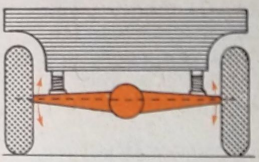


Abb. 14 Starrachse

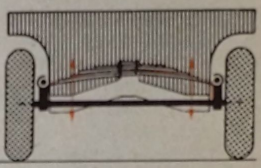


Abb. 15 Schwebeachse

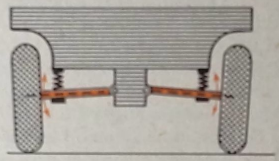


Abb. 16 Eingelenk-Pendelachse

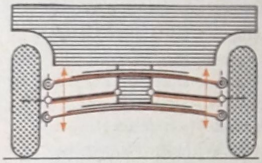


Abb. 17 Doppelquerfeder

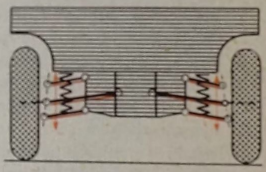


Abb. 18 Doppelquerlenker

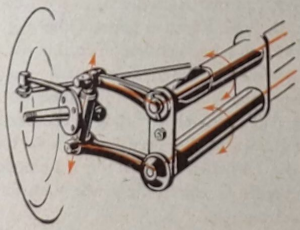


Abb. 20 Kurbelachse mit zwei Kurbelarmen

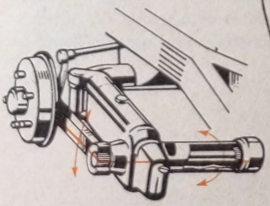


Abb. 19 Einfache Kurbelachse

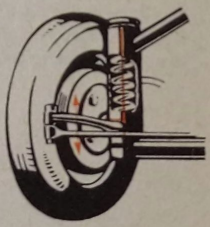


Abb. 21 Einzelradaufhängung mit Hülsenführung

STOSSDÄMPFER

Stoßdämpfer sind zwischen Fahrzeugaufbau und Radaufhängung angebrachte Vorrichtungen, welche die durch starke Bodenunebenheiten entstehenden unangenehmen Federschwingungen dämpfen sollen (Abb. 1).

Heute werden fast ausschließlich hydraulische Stoßdämpfer verwendet. Bei ihnen wird ein Kolben in einem Zylinder bewegt und verdrängt Öl durch enge Bohrungen oder Ventile. Bei Verwendung eines Gases anstelle von Öl würde der Kolben in seiner Bewegung kaum gehindert, da das Gas fast ohne Widerstand durch eine enge Öffnung ausgeschoben wird. Verwendet man dagegen Flüssigkeiten (z.B. Öl), so kann der Kolben diese nur sehr schwer ausschieben, wodurch seine Bewegung stark verzögert wird (Abb. 2).

Bei älteren Stoßdämpferausführungen bewegt sich der Kolben in einem mit Öl gefüllten Gehäuse hin und her (Abb. 3). Die durch Fahrbahnunebenheiten sich ergebenden Bewegungen werden durch ein mit der Wagenachse verbundenes Hebelgestänge auf den Kolben übertragen. Bewegt sich der Hebel nach oben, so bewegt sich der Kolben nach links und preßt das Öl durch einen Kanal und durch ein Ventil auf die andere Seite des Kolbens. Diese Bewegung nach oben soll jedoch nur schwach gedämpft werden, um die Wirkung der Federung nicht zu beeinträchtigen (Abb. 3a). Man wählt also ein Ventil mit großem Durchlaß. Das Öl kann dadurch schnell ausweichen, und die Dämpfung ist gering. Das Rückschnellen der Federung soll jedoch stark gedämpft werden; daher verwendet man bei dem anderen Ventil, das sich öffnet, wenn der Hebel sich nach unten und der Kolben sich nach rechts bewegt (Abb. 3b), einen weitaus engeren Durchlaß. Dieser Stoßdämpfer wirkt also doppelseitig, jedoch mit verschiedener Dämpfung bei Auf- und Abwärtsbewegung. Die heute meistens verwendete Bauart ist der Teleskopstoßdämpfer (Abb. 4). Im Prinzip arbeitet er wie der Hebelstoßdämpfer. Er besteht aus zwei ineinandergeschobenen Rohren; am äußeren Rohr ist die Kolbenstange befestigt, deren Kolben sich in der mit Öl gefüllten Innenkammer des inneren Rohres bewegt. Im Kolben befinden sich sog. Klappventile, die wechselweise nur nach einer Seite Öl durchlassen. Sie stellen die Drosselventile dar, durch die die Dämpfung hervorgerufen wird.

Bewegt sich der Kolben nach rechts (Einfedern), so wird das Öl durch ein Klappventil oder durch Bohrungen in die linke Kammer gepreßt; bewegt sich der Kolben nach links (Ausfedern), so strömt das Öl durch ein anderes Ventil in die rechte Kammer zurück. Da die linke Kammer wegen der Kolbenstange kleiner ist als die rechte, muß beim Einfedern ein Teil des Öls durch das Bodenventil in den Vorratsraum strömen. Das Bodenventil (Abb. 5) ist so ausgebildet, daß in beiden Richtungen Öl strömen kann, nur ist der Widerstand beim Einfedern viel größer, da das Öl nicht durch die Öffnung des Ventils, sondern durch die engen Spalten der Lamellen gepreßt wird. Beim Ausfedern strömt das zuerst in den Vorratsraum eingepreßte Öl durch die große Ventilöffnung ohne großen Widerstand in die innere Kammer zurück.

Abb. 1 Einsatz der Teleskopstoßdämpfer

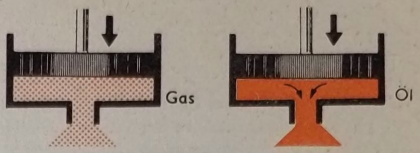
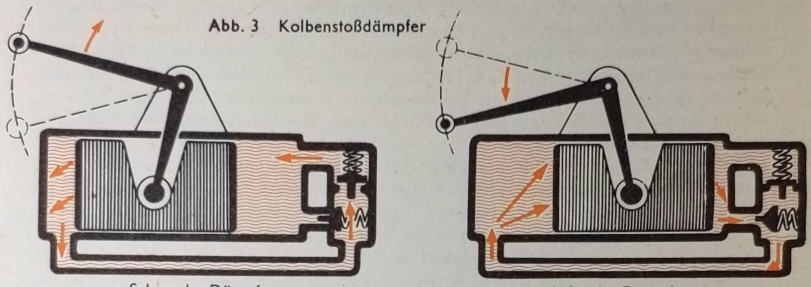


Abb. 2 Unmerklicher und starker Widerstand gegen Kolbenbewegung

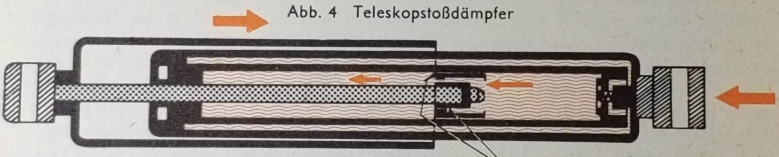
Abb. 3 Kolbenstoßdämpfer



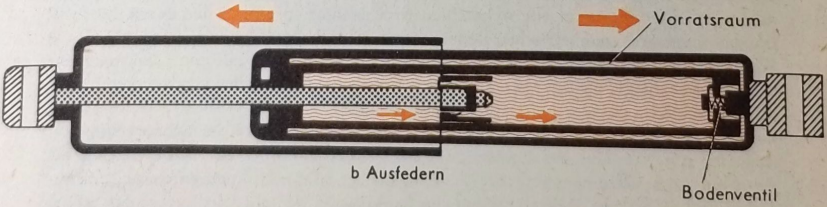
a Schwache Dämpfung

b Starke Dämpfung

Abb. 4 Teleskopstoßdämpfer



a Einfedern



b Ausfedern

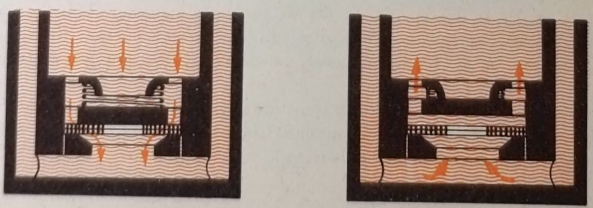


Abb. 5 Bodenventil beim Ein- und Ausfedern

LENKUNG

Die Lenkung eines Fahrzeuges soll das Ändern der Fahrtrichtung und das Befahren von Fahrbahnkrümmungen ermöglichen. Die Hauptforderung, die an eine gute Lenkung gestellt wird, ist ein geometrisch einwandfreies Abrollen aller Räder (ohne Gleiten) in den Kurven. Bei Krafträdern und Dreiradfahrzeugen mit Einzelradlenkung ist diese Bedingung immer erfüllt, liegt doch hier der Mittelpunkt der Kreisbewegung stets im Schnitt der Verlängerung der gelenkten und der ungelenkten Achse. Geometrisch einwandfrei ist auch bei Vierradfahrzeugen die sog. Drehschemellenkung (Abb. 1a), bei der die gesamte Lenkachse als starres System um ihren Mittelpunkt gedreht wird; sie ist bei Pferdefuhrwerken und D-Zug-Wagen sowie bei Anhängern üblich. Der Nachteil der Drehschemellenkung ist aber, daß die Stabilität des Fahrzeugs mit wachsendem Rad- bzw. Achseinschlag abnimmt und die Räder zum Einschlagen unter dem Rahmen viel Platz benötigen. Bei der Achsschenkellenkung (Abb. 1b) treten diese Nachteile nicht auf (weil jedes gelenkte Rad seinen eigenen Drehpunkt hat), dafür genügt sie der gestellten Hauptforderung des geometrisch einwandfreien Abrollens aller Räder nur annähernd. Wie aus der Abb. 1b ersichtlich ist, fällt die Verlängerung der Hinterachse mit der Verlängerung der beiden vorderen Achsschenkel nur dann in einem Punkt zusammen, wenn das in der Kurve innenliegende Rad einen größeren Einschlag hat als das außenliegende, denn nur dann rollen alle Räder auf konzentrischen Kreisen um den Mittelpunkt der Kreisbewegung ab. Ordnet man nun die Spurstangenhebel (Abb. 1b) nicht parallel der Längsachse des Fahrzeuges (Lenkparallelogramm), sondern bei Geradeausfahrt in einen Winkel zur Längsrichtung an, so daß sich die Verlängerungen der Spurstangenhebel auf der Fahrzeuglängsachse schneiden, so wird angenähert erreicht, daß alle Räder bei Kurvenfahrt senkrecht zur Verbindungslinie zum gemeinsamen Mittelpunkt der Drehbewegung abrollen. Da bei dieser Anordnung bei Geradeausfahrt die beiden Spurstangenhebel, die Vorderachse und die Spurstange ein Trapez bilden, spricht man auch von einem Lenktrapez.

Bei der Achsschenkellenkung hat, wie bereits gesagt, jedes Rad seinen eigenen Drehpunkt, den Achszapfen. An diesem ist der Achsschenkel angebracht, um welchen sich das Rad beim Rollen dreht. Am Achszapfen jeder Seite ist jeweils ein kleiner Hebel (der Spurstangenhebel) angebracht. Diese Spurstangenhebel sind durch die Spurstange miteinander verbunden. Dadurch braucht das Lenksystem mit dem Lenkhebel nur an einem Achszapfen anzugreifen; der zweite Achszapfen wird dann entsprechend den durch das Lenktrapez festgelegten geometrischen Bedingungen verstellt. Bei Drehung des Lenkrades im Wageninnern überträgt das Lenkgetriebe diese Drehbewegung auf den Lenkstockhebel und die Lenkstange, die den oben erwähnten Lenkhebel bewegt, der seinerseits wiederum die Achsschenkel um den Achszapfen dreht (Abb. 2).

Bauformen von Lenkgetrieben zeigen die Abb. 3, 4 und 5. Bei der Schneckenlenkung trägt der unterste Teil der Lenkspindel ein Schnecken- oder ein Schraubengewinde, das in ein Zahnradsegment eingreift (Abb. 3). Bei der Spindellenkung wird eine Lenkmutter auf und ab bewegt (Abb. 4). Wenn die Lenkspindel gedreht wird, greift das Schnekkengewinde am Ende der Spindel in das Schneckenradsegment (Abb. 4) ein und bewegt es auf oder ab. Fest mit dem als Segment ausgebildeten Schneckenrad oder der Lenkmutter verbunden ist der Lenkstockhebel, auf den diese Bewegungen übertragen werden.

Eine Abänderung der Spindellenkung stellt die sog. Roßlenkung dar (Abb. 5), bei der keine Lenkmutter an der Spindel auf- und abgleitet, sondern ein Finger in das Gewinde eingreift und so den Lenkstockhebel bewegt.

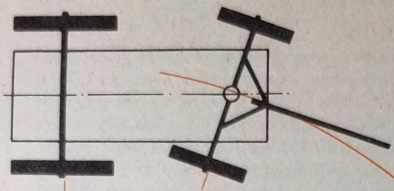


Abb. 1a Drehschemellenkung

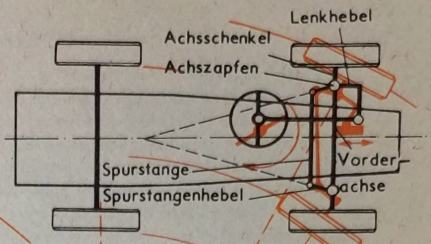
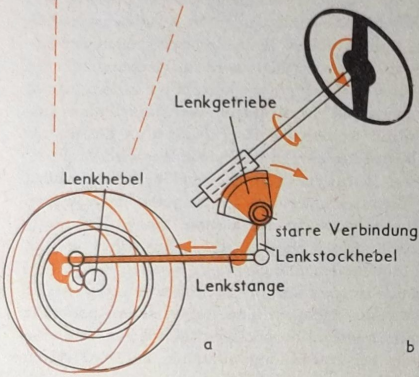


Abb. 1b Achsschenkellenkung mit Lenktrapez



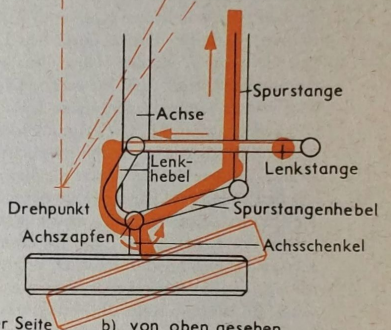


Abb. 2 Schema der Lenkung a) von der Seite b) von oben gesehen

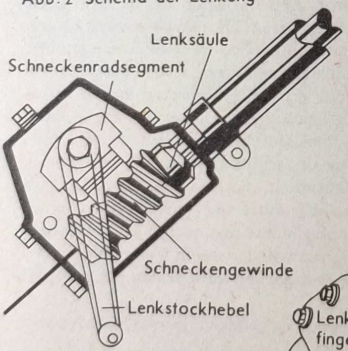


Abb. 3 Lenkgetriebe (Schneckenlenkung)

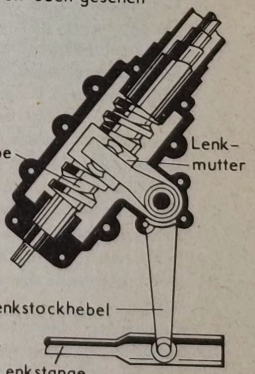


Abb. 4 Lenkgetriebe (Spindellenkung)

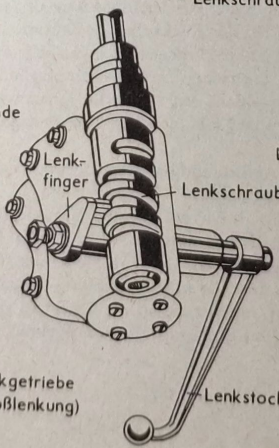


Abb. 5 Lenkgetriebe (Roßlenkung)

BREMSEN I

Backenbremsen

In modernen Kraftfahrzeugen werden Innenbackenbremsen fast immer hydraulisch betätigt. Bei einer hydraulischen Anlage nutzt man ein Naturgesetz aus, nach dem der auf eine eingeschlossene Flüssigkeit ausgeübte Druck sich in dieser nach allen Richtungen gleichmäßig fortpflanzt (Abb. 1): Der linke Kolben belastet die Flüssigkeit mit 100 kp. Auf jeden der acht auf der rechten Seite dargestellten Kolben, von denen jeder einzelne die gleiche Kolbenfläche hat wie der linke, wirken ebenfalls je 100 kp. Der Kolbenweg der acht rechten Kolben beträgt je Kolben jedoch nur ein Achtel des Weges, den der linke Kolben zurücklegen muß. In Abb. 2 ist das Schema einer Innenbackenbremsanlage mit der gesamten Hydraulik dargestellt; sie besteht aus Hauptzylinder mit Ausgleichsbehälter, den Radzylindern und den verbindenden Rohrleitungen. Beim Bremsen spielen sich folgende Vorgänge ab: Durch Niederdrücken des Bremspedals wird im Hauptzylinder ein Kolben (der dem linken Kolben in Abb. 1 entspricht) bewegt; er erzeugt in dem ganzen Bremssystem einen Druck, durch den die beiden kleinen Kolben in den Radzylindern auseinandergepreßt werden. Über Druckbolzen werden die Bremsbacken an die Bremstrommel gedrückt (Abb. 3a und 3b). Die Bewegungsenergie des Fahrzeuges wird durch die an den Bremsbelägen auftretende Reibung in Wärmeenergie umgewandelt, die nach außen abgestrahlt wird; die Erwärmung der Bremstrommel ist nach längeren Bremswegen deutlich fühlbar. Damit eine möglichst große Wärmemenge in einer kurzen Zeit abgestrahlt werden kann, müssen die Bremstrommeln große äußere Flächen haben und an solchen Stellen am Fahrzeug angeordnet sein, an denen die Luft gut zutreten kann. Wird die Bremstrommel zu heiß, so dehnt sie sich zu stark aus, die Bremsbacken können sich wegen des begrenzten Weges im Druckzylinder nicht mehr so fest an deren Innenseite anpressen. Außerdem nimmt die Bremswirkung des Bremsbelages bei höherer Temperatur ab, da die entstehende Reibungskraft bei Erwärmung abnimmt. So wird durch schlechte Wärmeabfuhr die Wirksamkeit der Bremse stark herabgesetzt.

Kernstück der Bremsanlage ist der Hauptzylinder (Abb. 4). Wenn der Kolben nach Betätigung des Bremspedals bewegt wird, dann erzeugt er im Druckraum, indem er sich nach rechts bewegt, einen Überdruck. Dieser Druck wird über die Bremsleitungen den Radzylindern zugeführt. Damit eventuelle Druckdifferenzen in dem System ausgeglichen werden können (sie entstehen z. B. bei Ausdehnung der Bremsflüssigkeit in den Rohrleitungen), ist zwischen dem Druckraum und der Leitung ein Bodenventil angeordnet. Außerdem sorgt der Hauptzylinder für eine gleichmäßige Füllung, indem er bei Ruhestellung des Kolbens durch die Ausgleichsbohrung Bremsflüssigkeit in den Druckraum nachfließen läßt. Damit bei der Rückkehr des Kolbens in die Ruhestellung keine Luft angesaugt werden kann, ist die Hinterseite des Kolbens durch die Nachlaufbohrung mit Bremsflüssigkeit gefüllt. An einem Ende des Hauptzylinders sitzt auch noch der Bremslichtschalter, in welchem durch den Druck im Druckzylinder durch Verschieben eines kleinen Kolbens der elektrische Kontakt, der die Bremslichter aufleuchten läßt, betätigt wird.

Um den verschiedenen Anforderungen beim Bremsen zu genügen, gibt es verschiedene Bauarten der Innenbackenbremse.

Simplex-Bremse (Abb. 5): Durch den hydraulischen Druck in einem Radzylinder werden beide Backen gegen die Bremstrommel gedrückt. Die Abstützkräfte werden unten an einem Lagerblock aufgenommen. Abb. 5a stellt eine Gliederbackenbremse, Abb. 5b eine Gleitbackenbremse dar. Die in Fahrtrichtung liegende Backe ist hier eine Auflaufbacke, bei der die Kraft, mit der sie an die Trommel gedrückt wird, durch Selbstverstärkung (Tangentialkräfte) größer ist als die aufgebrachte Spannungskraft.

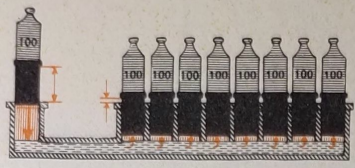


Abb. 1 Prinzip der hydraulischen Bremse (Pascalsches Gesetz)

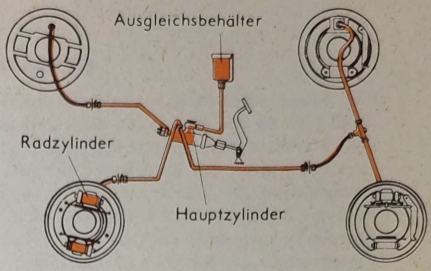


Abb. 2 Schema einer hydraulischen Bremse

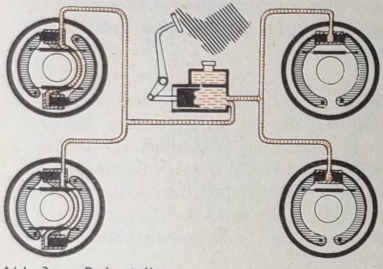


Abb. 3 a Ruhestellung

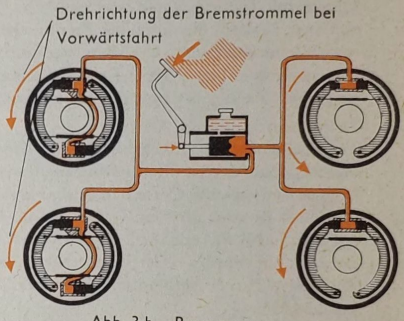


Abb. 3 b Bremsvorgang

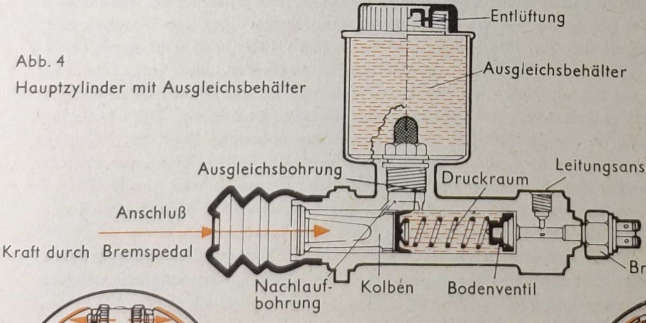


Abb. 4
Hauptzylinder mit Ausgleichsbehälter

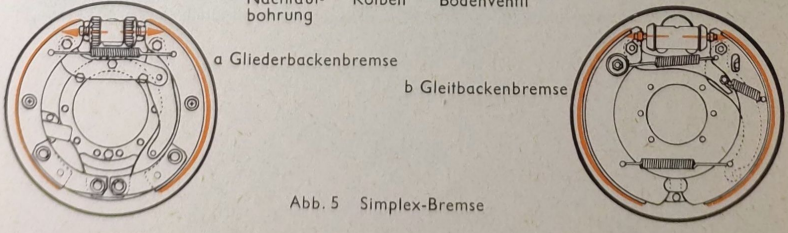


Abb. 5 Simplex-Bremse

BREMSEN II

Eine andere Ausführung der Innenbackenbremse ist die Duplex-Bremse (Abb. 6): Bei der Duplex-Bremse wird durch die Anordnung zweier auflaufender Bremsbacken eine hohe Ausnutzung der Selbstverstärkung erreicht. Jede Backe hat einen eigenen, nur nach einer Seite wirkenden Radzylinder, der eine Backe anpreßt und der anderen als Abstützung dient. Die Wirkung dieser Bremse ist beim Rückwärtsfahren sehr schlecht, weil dann nur ablaufende Backen vorhanden sind.

Weitere Bauarten sind die Duo-Duplex-Bremse und die Servo-Bremse, bei denen die Eigenschaften der beiden vorhergenannten miteinander kombiniert und noch weiter verstärkt sind.

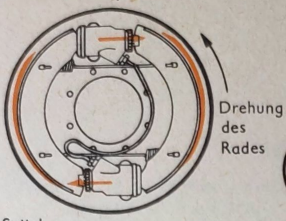
Neben den bisher beschriebenen Einkreisanlagen baut man auch hydraulische Zweikreisanlagen mit Tandem-Hauptzylinder (Abb. 7). In diesem Tandem-Hauptzylinder befinden sich zwei Kolben, die durch das Bremspedal betätigt werden. Der vordere Kolben übermittelt seine Kraft auf den zweiten, wodurch zwei Kreise mit Bremsflüssigkeit unter Druck gesetzt werden. Der Vorteil der Zweikreisanlage liegt darin, daß bei Bruch einer Ölleitung eines Kreises der zweite Kreis wirksam bleibt.

Scheibenbremsen

Teilscheibenbremsen: Eine Scheibenbremse dieser Bauart nennt man auch Zangenbremse, denn hier ist die Bremsscheibe zwischen zwei zangenartig angeordneten Bremsbelägen eingespannt. Diese Beläge sind kreis- oder nierenförmig ausgebildet. Die Bremsscheibe läuft zum größten Teil außerhalb der Beläge und wird dadurch hervorragend gekühlt (Abb. 8a und 8b). Zweikreisanlagen wirken bei Teilscheibenbremsen nicht getrennt auf Vorder- oder Hinterräder, sondern jeder Kreis wirkt auf alle vier Räder. Zu diesem Zweck sind an den Bremsscheiben aller Räder je vier Bremszylinder angebracht (Abb. 9).

Vollscheibenbremsen (Abb. 10): Bei dieser Bauart wirken feststehende Beläge von innen her auf beide Seiten eines umlaufenden Gehäuses. Die entstehende Wärme muß dabei von innen her genau wie bei den Innenbackenbremsen durch das Gehäuse nach außen transportiert werden. Die Selbstverstärkung (Abb. 10b) wird hier durch Stahlkugeln erzeugt, die beim Verdrehen der beiden Bremsscheiben (eine fest, eine lose) gegeneinander auf Kugelpfannen mit schrägen Flächen auflaufen. Hierdurch werden die beiden Scheiben gespreizt und noch fester an das Gehäuse angedrückt. Die Größe der Selbstverstärkung ist von der Neigung der Kugelpfannen abhängig. Bei flacher Neigung der Kugelpfannen wird eine große Selbstverstärkung erzielt, jedoch kann eine derartige flache Kugelpfanne zum Klemmen und Blockieren der Bremse führen, da die Kugeln nicht mehr von selbst an die tiefste Stelle der Pfanne zurückrollen können. Außerdem müssen beide Scheiben eine große gegenseitige Verschiebung aufweisen, bevor sie so weit gespreizt sind, daß sie seitlich eine Bremswirkung ausüben können. Eine Abnutzung der Reibbeläge macht eine noch größere gegenseitige Verschiebung der Scheiben erforderlich, weshalb Bremsen mit großer Selbstverstärkung sehr empfindlich gegen Abnützung der Reibbeläge sind.

Abb. 6 Duplex-Bremse



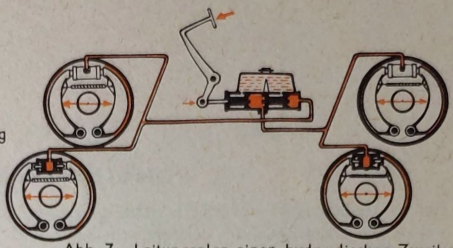
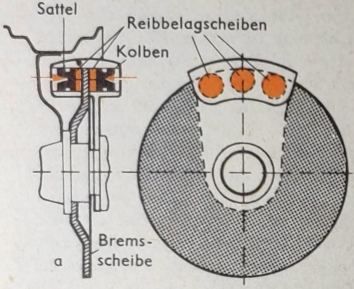


Abb. 7 Leitungsplan einer hydraulischen Zweikreis-Bremse mit Tandem-Hauptzylinder



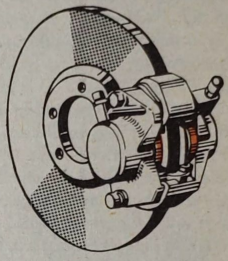


Abb. 8 Teilscheibenbremse (Zangenscheibenbremse)

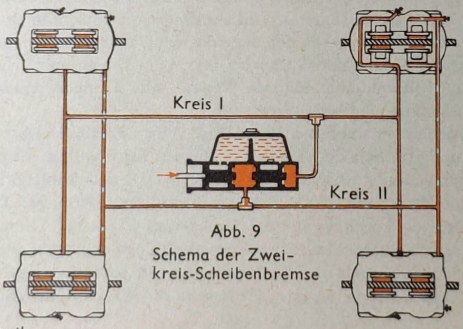
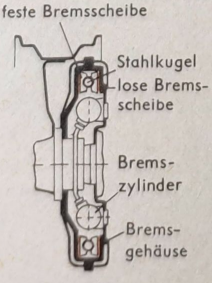
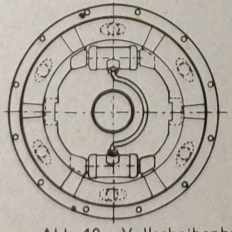


Abb. 9
Schema der Zweikreis-Scheibenbremse





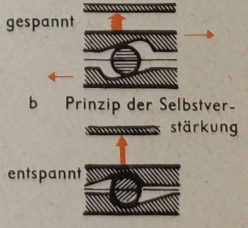


Abb. 10 Vollscheibenbremse

SCHEINWERFER

Ein Kraftfahrzeugscheinwerfer besteht aus dem Gehäuse (meistens in der Karosserie eingelassen), dem Reflektor, der Streuscheibe und den Glühlampen mit Fassung.

Der Spiegel oder Reflektor hat die Aufgabe, das vom Glühfaden der Lampe nach allen Seiten ausgestrahlte Licht zu bündeln und in Fahrtrichtung zu werfen. Die Reflektoren sind als Paraboloide ausgebildet, sie werfen alle auftreffenden Strahlen, die von einer in ihrem Brennpunkt angeordneten Lichtquelle ausgehen, parallel zur Paraboloidachse zurück (Abb. 1; s. S. 168). Sind die Lichtquellen nicht im Brennpunkt aufgestellt (Abb. 2 und Abb. 3), so wird die Lichtleistung des Scheinwerfers in der gewünschten Richtung durch Zerstreuung der Strahlen erheblich herabgesetzt. Die Reflektoren werden aus Stahl hergestellt, auf dessen Oberfläche Aluminium im Vakuum aufgedampft wird; sie reflektieren etwa 89% der auftreffenden Lichtmenge. Die Gläser der Scheinwerfer dienen als Streuscheibe, d. h., sie sollen das Licht so verteilen, daß auch die Zone seitlich und unmittelbar vor dem Wagen beleuchtet wird. Man erreicht dies durch Rillen oder Rippen im Glas, die als Prismen (Abb. 4) wirken und das Licht ablenken. Diese Streuung vermindert natürlich die Helligkeit in der Hauptrichtung.

Die wichtigsten Bedingungen, die die Glühlampen erfüllen müssen, sind eine genaue Lage des Glühfadens im Brennpunkt des Spiegels und große Lichtausbeute bei möglichst geringer Größe. Die erste Bedingung wird durch genaue Fixierung der Befestigungslappen am Sockel der Glühlampe zu der Lage des Glühfadens erreicht. So sitzt bei richtiger Anbringung der Lampe der Glühfaden immer im Brennpunkt. Eine hohe Lichtausbeute ergeben Wolframdrähte, die als Wendel oder Doppelwendel in einem mit Edelgas gefüllten Kolben eingeschmolzen sind.

Bei der heute meistens verwendeten Biluxlampe, einer Zweifadenlampe mit Abdeckschirm (Abb. 5a und 5b), befindet sich der Glühfaden für Fernlicht im Brennpunkt des Scheinwerfers. Der getrennt einschaltbare Glühfaden für das Abblendlicht sitzt einige Millimeter vor dem Brennpunkt und außerdem etwas höher (Abb. 5a). Dadurch verläßt das Licht als gestreutes, kegeliges Bündel den Spiegel (Abb. 6a). Die auf den unteren Teil des Spiegels auftreffenden Strahlen würden nach oben abgelenkt werden. Dies verhindert ein Abdeckschirm unter dem Glühfaden, der die nach unten gehenden Strahlen und durch eine Aufbördelung an der Vorderseite die direkt nach vorn austretenden Strahlen abfängt.

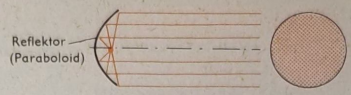


Abb. 1 Lichtquelle im Brennpunkt: Strahlen werden parallel zurückgeworfen

Abb. 2 Lichtquelle ober- oder unterhalb des Brennpunktes: Strahlen werden zerstreut

Abb. 3 Lichtquelle vor oder hinter dem Brennpunkt: Strahlen werden zerstreut

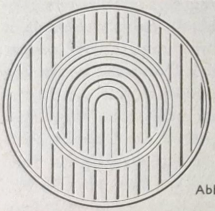


Abb. 4a Streuscheibe

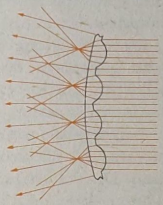


Abb. 4b
Lichtverteilung durch die Streuscheibe

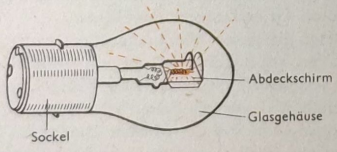


Abb. 5a Biluxlampe (Abblendlicht)

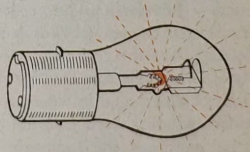


Abb. 5b Biluxlampe (Fernlicht)

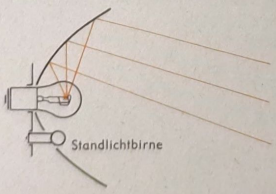


Abb. 6a Austritt der Strahlen bei Abblendlicht

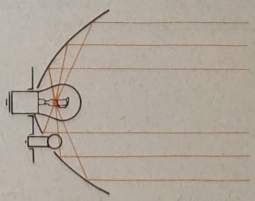


Abb. 6b Strahlengang bei Fernlicht

AUTOHUPE

Nach der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung müssen Kraftfahrzeuge zum Warnen gefährdeter Verkehrsteilnehmer Hupen oder Hörner besitzen. Ihr Klang darf nicht erschrecken, ihre Lautstärke darf in 7 m Abstand höchstens 104 Phon betragen.

Eine Hupe muß wie jeder Tonerzeuger die Luft zum Schwingen bringen; die dabei entstehenden Luftdruckschwankungen nimmt das Ohr dann als Schall wahr. Die Höhe des Tones wird dabei durch die Anzahl der Schwingungen je Sekunde, die sog. Frequenz des Tones, bestimmt. Je nach Schalldruck (gemessen in μbar = Mikrobar = Druck von etwa einem hundertstel mm Wassersäule) und Frequenz des Tones empfindet das menschliche Ohr eine bestimmte Lautstärke (Abb. 1). Diese Lautstärke wird in Phon gemessen. Verschieden hohe Töne werden bei gleichem Schalldruck nicht gleich laut empfunden. So erstreckt sich der Hörbereich, der in Richtung niedrigen Schalldruckes durch die Hörschwelle, in Richtung hohen Schalldrucks durch die Schmerzschwelle begrenzt wird, bei Frequenzen von 2000 bis 5000 Hertz (= Schwingungen pro Sekunde) bis zu sehr niedrigen Schalldrücken herunter, d. h., hier ist das menschliche Ohr besonders empfindlich. Zufälligerweise ist der Schalldruck des von Kraftfahrzeugen abgestrahlten Geräusches gerade in demselben Bereich von 2000 bis 5000 Hertz verhältnismäßig niedrig (s. Abb. 2). Es ist deshalb zweckmäßig, die von einer Hupe erzeugten Frequenzen möglichst in diesen Bereich zu legen: die Hupe übertönt dann besser die Fahrzeuggeräusche und wird vom menschlichen Ohr deutlicher wahrgenommen. Die heute im Straßenverkehr üblichen Warngeräte sind zum überwiegenden Teil entweder Aufschlaghörner (Abb. 3) oder Fanfaren (Abb. 4). Beide weisen einen Elektromagneten auf, dessen Wicklung beim Betätigen der Hupe unter Strom gesetzt wird. Dadurch wird eine Eisenplatte, der sog. Anker, angezogen. Durch die Bewegung dieses Ankers wird selbsttätig ein Kontakt, der Unterbrecher, geöffnet, der die Stromzufuhr zum Elektromagneten unterbricht. Da jetzt der Anker nicht mehr angezogen wird, kann er in seine Ausgangslage zurückfedern. Dabei wird jedoch der Unterbrecherkontakt wieder geschlossen, der Elektromagnet erhält erneut Strom, so daß das Spiel von vorn beginnen kann. Die Schwingungen des Ankers werden auf eine mit ihm verbundene Membran und von dieser auf die Luft übertragen. Die Anzahl der so entstehenden Schwingungen je Sekunde nennt man die Grundfrequenz des Horns.

Bei den Aufschlaghörnern (Abb. 3) schlägt die ganze Membrangruppe, wozu Ankerplatte, Schwingbalken und Membran gehören, auf den Magnetkern auf, wobei zusätzlich Oberschwingungen in einem engen Frequenzbereich entstehen. Das Tonspektrum eines Aufschlaghorns weist dadurch hauptsächlich zwei schmale Frequenzbereiche auf, so daß es bei hartem Klang Lärm gut durchdringen kann. Bei der weicher klingenden Fanfare schlägt die Membrangruppe nicht auf, sondern kann frei durchschwingen. Die erzeugten Luftdruckschwankungen teilen sich dem Schneckentrichter mit. Das Tonspektrum des Fanfarenhorns weist viele über einen weiten Frequenzbereich verteilte Obertöne auf; die Tonhöhe des Grundtones wird hauptsächlich von der Länge des Fanfarentrichters bestimmt.

Abb. 1 Kurven gleicher Lautstärke zeigen, daß die Empfindlichkeit des Ohres zwischen 2000 und 5000 Hz am größten ist

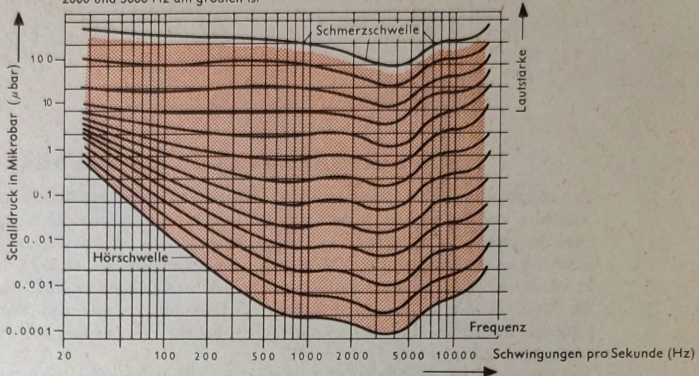


Abb. 2 Kraftwagengeräusch hat zwischen 2000 und 5000 Hz niedrigen Schalldruck

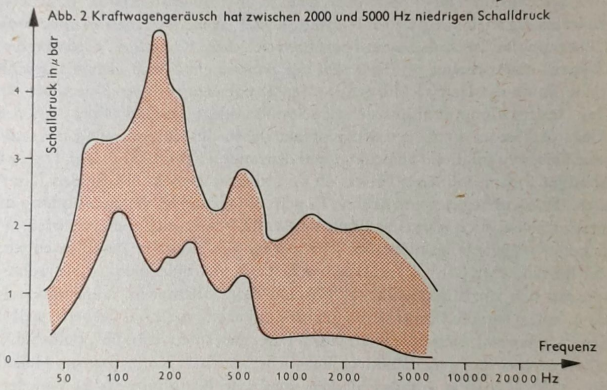


Abb. 3 Aufschlaghorn

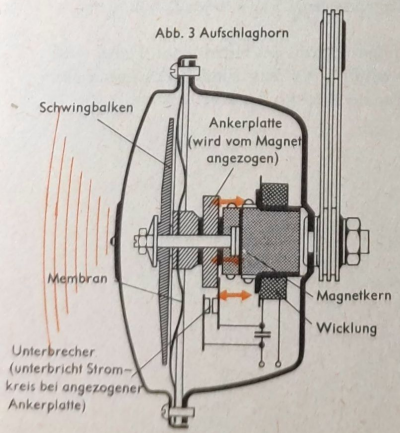
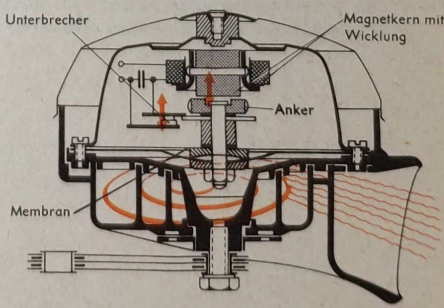


Abb. 4 Elektrofanfare



BLINKER (BIMETALLBLINKGEBER)

Der elektrothermisch arbeitende Blinkgeber verwendet Bimetallfedern zum Öffnen und Schließen von Kontakten. Bimetallstreifen bestehen, wie schon der Name sagt, aus aufeinandergeklebten Folien zweier verschiedener Metalle, die sich bei Erwärmung verschieden stark ausdehnen. Erhitzt man einen solchen Streifen, so zieht das sich weniger ausdehnende Metall das sich stärker ausdehnende zu sich herüber. Hält man nun ein Ende des Streifens fest, so bewegt sich das freie Ende mit wechselnden Temperaturen verschieden stark zwischen seiner Ruhelage bei kaltem Zustand und seinem größten Ausschlag hin und her.

Der Bimetallblinkgeber besteht aus zwei solcher Bimetallstreifen (Abb. 2a), die beide bei Erwärmung nach der gleichen Richtung ausschlagen. Sie tragen an ihrem freien Ende einen Silberkontakt. Im Ruhezustand berühren sich diese Kontakte. Wird nun die Zündung des Wagens eingeschaltet, so fließt von der Batterie ein Strom über die geschlossenen Kontakte durch die Heizwicklung des einen Streifens zur Masse. Durch die erzeugte Wärme der Heizwicklung erwärmt sich der Streifen, biegt aus und öffnet so den Kontakt. Nun fließt der Strom statt über den Kontakt durch die Heizwicklung des anderen Bimetallstreifens, worauf dieser ausschlägt und dem anderen folgt (Abb. 2b). Dieser bekommt jetzt weniger Strom, kühlt also etwas ab und kommt zurück. Die beiden Kontakte berühren sich, das Spiel beginnt von neuem. Es geht so lange fort, wie die Zündung des Wagens eingeschaltet ist, auch wenn der Blinkschalter im Wagen nicht betätigt wird. Wird nun dieser Schalter umgelegt, so fließt der Strom, wenn die Kontakte geschlossen sind, unmittelbar zur Blinkleuchte (Abb. 2a). Diese leuchtet auf. Das Spiel geht jedoch weiter, die Kontakte trennen sich, die Blinkleuchte erlischt. Die Kontrollampe im Wageninnern leuchtet immer dann auf, wenn die Blinkleuchte gerade dunkel ist, und zwar deshalb, weil sie immer dann Strom bekommt, wenn die Kontakte gerade offen sind (Abb. 2b). Beim Schließen der Kontakte leuchtet dann die Blinkleuchte wieder auf, die Kontrollampe bleibt dunkel, da sie durch die Kontakte kurzgeschlossen wird. Die Blinkfrequenz ist von der Außentemperatur unabhängig. Außerdem beginnt der Geber bei laufendem Motor seine Tätigkeit sofort nach Betätigung des Blinkschalters im Wageninnern, da er mit der Zündung eingeschaltet wird.

Andere vielverwendete Blinkgeber beruhen auf dem Prinzip des Hitzdrahtes. Dabei wird die Wärmelängung eines dünnen Widerstandsdrahtes unter dem Einfluß des durch den Draht fließenden Lampenstromes dazu verwendet, die Blinkkontakte zu steuern.

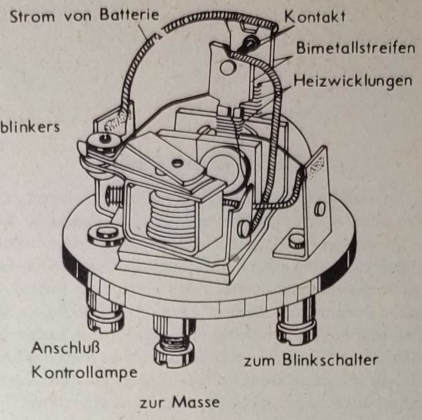


Abb. 1
Aufbau eines Bimetallblinkers

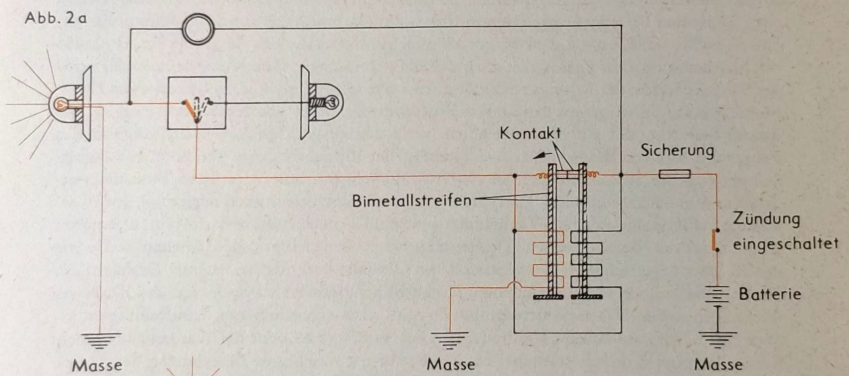


Abb. 2a

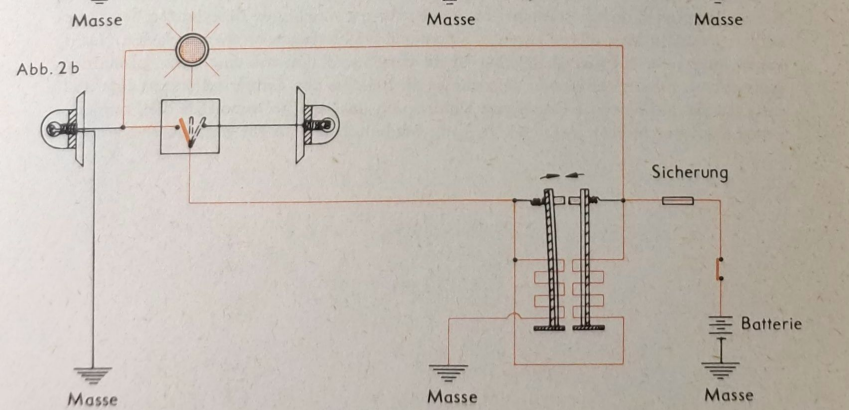


Abb. 2b

TACHOMETER

Tachometer messen die Geschwindigkeit von Fahrzeugen (seltener von Maschinen) und zeigen im angeschlossenen Kilometerzählwerk die zurückgelegte Wegstrecke an. Das Herzstück dieses Meßgerätes ist ein Magnet. Um jeden Magneten existiert ein magnetisches Feld (Abb. 2), das durch die Kraftlinien dargestellt wird. Man kann die Kraftlinien sichtbar werden lassen, wenn man auf eine Platte, unter der sich ein Magnet befindet, Eisenfeilspäne streut; die Späne ordnen sich dann in Form der Kraftlinien. Rotiert ein Magnet (Abb. 2), so dreht sich sein Kraftfeld mit ihm. Der Magnet im Tachometer beginnt zu rotieren, sobald der Kraftwagen fährt. Angetrieben wird er über ein kleines Getriebe von der Tachometerwelle, die mit der Kardanwelle oder dem Vorderrad gekoppelt ist. Je größer die Geschwindigkeit des Fahrzeuges ist, desto größer ist auch die Umdrehungszahl des Magneten. Der Magnet rotiert konzentrisch in einem Aluminiumring. Durch das Feld des sich drehenden Magneten werden in diesem Ring Wirbelströme erzeugt, die wiederum ein Magnetfeld hervorrufen. Aus der Wechselwirkung dieses Feldes mit dem Magnetfeld des rotierenden Permanentmagneten resultiert ein Drehmoment auf den Aluminiumring, das versucht, den Ring mit dem Magneten gleichsinnig zu drehen. Je größer die Drehzahl des Magneten ist, desto größer ist auch dieses Drehmoment. Durch eine Spiralfeder wird der Ring jedoch an der Rotation gehindert. Er kann sich lediglich je nach Stärke des Drehmomentes ein Stück gegen das Rückstellmoment der Feder verdrehen. Am Ring ist ein Zeiger befestigt, der auf einer geeichten Skala die entsprechende Geschwindigkeit des Fahrzeuges anzeigt. Bei manchen Autotypen ist der Ring durch eine Trommel verlängert, auf der sich die Skala befindet. Bei Geschwindigkeitszunahme wird diese Trommel verdreht und in einem schmalen Spalt die herrschende Geschwindigkeit angezeigt. Im allgemeinen befindet sich an einem Tachometer auch ein Kilometerzählwerk. Es wird über einen kleinen, auf der Tachometerwelle befestigten Schneckentrieb von der gleichen Welle wie der Magnet angetrieben. Ein anderes kleines Getriebe sorgt dafür, daß die Drehzahl der Tachometerwelle in eine weit kleinere Drehzahl herabgesetzt wird, die auf das Zählwerk übertragen wird. Das Kilometerzählwerk zählt also eigentlich nur Umdrehungen; da aber eine bestimmte Anzahl Umdrehungen des Vorderrades oder der Kardanwelle einem zurückgelegten Kilometer entspricht, kann man nach richtiger Berechnung des Untersetzungsverhältnisses die gefahrenen Kilometer am Zählwerk erscheinen lassen. Hat die direkt angetriebene Einerzählscheibe für die einzelnen Kilometer eine ganze Umdrehung gemacht, so nimmt ein kleiner Mitnehmer die Scheibe der Zehnerstellen um eine Stelle mit; hat die Zehnerstelle eine ganze Umdrehung gemacht, so nimmt sie die Hunderterscheibe um eine Stelle mit. Dieser Vorgang wiederholt sich bis zur Zehntausenderscheibe.

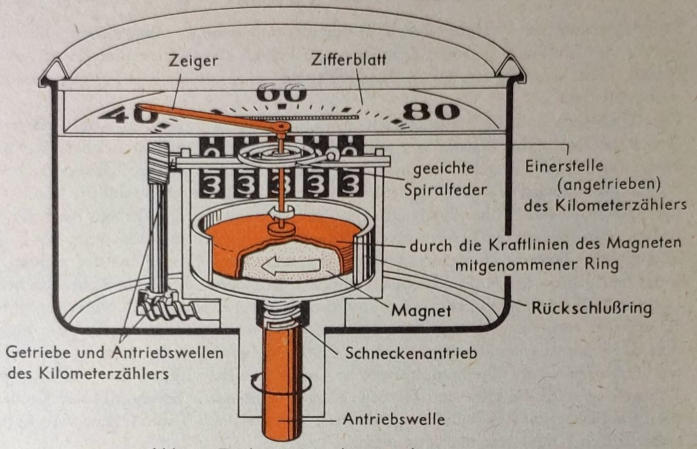


Abb. 1 Tachometer schematisch

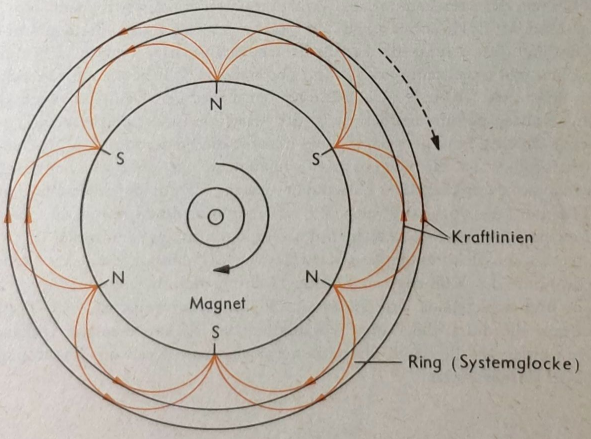


Abb. 2 Prinzip des Tachometerantriebs

DAMPFLOKOMOTIVE

Dampflokomotiven werden durch Kolbendampfmaschinen angetrieben. Bei diesen Maschinen dehnt sich in einem Zylinder unter hohem Druck stehender Dampf aus und bewegt dabei den Kolben. Die Kolbenbewegung wird auf die Antriebsräder der Lokomotive übertragen.

Das Triebwerk und die Steuerung einer Dampflokomotive sind in Abb. 1 dargestellt. Durch das Dampfeintrittsrohr kommt der Dampf, der in einem Rauch- oder Flammrohrkessel (vgl. Dampfkessel S. 70 und Abb. 3) erzeugt wurde, in den Schieberkasten. Aus diesem Kasten wird er durch den Schieber in den Zylinder entweder auf die Vorder- oder die Hinterseite des Kolbens geleitet, dehnt sich dort aus und schiebt den Kolben an. Bei der in Abb. 1 gezeigten Lokomotive strömt der Dampf auf die linke Seite des Kolbens und schiebt diesen nach rechts, wodurch der entspannte Dampf auf der rechten Seite unter den Schieber, von dort in einen Ringkanal und weiter durch ein Rohr zum Schornstein und ins Freie gedrückt wird. Durch die Kolbenstange ist der Kolben fest mit dem Kreuzkopf verbunden. Dieser läuft auf einer Gleitbahn mit dem Kolben hin und her. Am Kreuzkopf ist in einem Gelenk die Treibstange befestigt, die mit ihrer anderen Seite am Treibzapfen des Treibrades angreift. Durch die Befestigung der Treibstange am Radumfang wird die Hin- und Herbewegung (oszillierende Bewegung) des Kolbens in die Drehbewegung des Rades umgewandelt. Die einzelnen Treibradsätze sind untereinander durch Kuppelstangen verbunden.

Die in Abb. 1 gezeigte Lokomotive fährt rückwärts, die Treibräder drehen sich entgegen dem Uhrzeigersinn. Soll die Bewegung nun umgekehrt werden, so muß der Schieber in der augenblicklichen Triebwerkstellung so stehen, daß der Dampf auf der Seite rechts vom Kolben eintreten kann. Diese veränderte Stellung des Schiebers wird vom Bedienungsstand der Lokomotive aus durch Drehen des Handrades erreicht. Dabei dreht sich das Gestänge um den Festpunkt; die Schieberschubstange bewegt sich in der Schwinge nach oben und gleichzeitig nach links, wodurch die Schieberstange den Schieber auf die linke Seite zieht (Abb. 2). Da während der Fahrt der Dampf abwechselnd in beide Zylinderhälften geführt werden muß (die Maschine ist doppeltwirkend), muß auch der Schieber dauernd bewegt werden. Dies besorgt die Steuerung. Am gleichen Zapfen wie die Treibstange ist die Gegenkurbel angebracht, die über die Schwingenstange die Schwinge um deren Festpunkt hin- und herbewegt. Sitzt die Schieberschubstange oberhalb des Drehpunktes, so bewegt sich der Schieber nach links, wenn die Schwingenstange nach rechts geht; sitzt sie unterhalb des Drehpunktes, ist es umgekehrt.

Die durch die Kolbenstange über Kreuzkopf und Treibstange auf den Treibzapfen übertragene Kraft des Kolbens bewirkt die Drehung der Räder; sie bringt, weil zwischen Rädern und Schienen ja eine Haftkraft (Reibung) wirksam ist, eine Zugkraft hervor. Dabei darf die durch die Dampfmaschine an den Rädern erzeugte Umfangskraft nicht größer werden als die durch Haftreibung ausnutzbare Kraft am Radumfang, weil sonst die Räder durchrutschen.

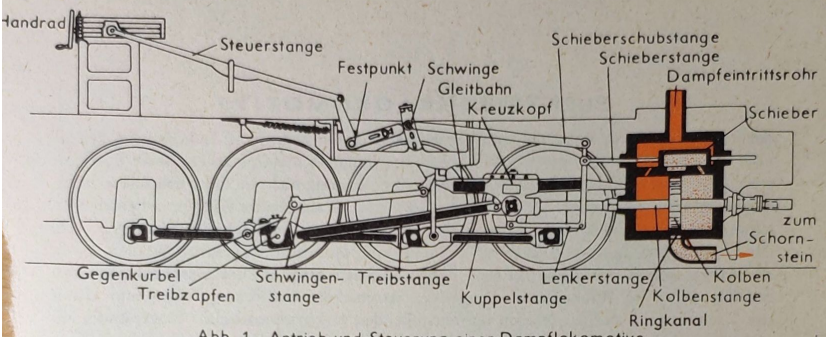


Abb. 1 Antrieb und Steuerung einer Dampflokomotive

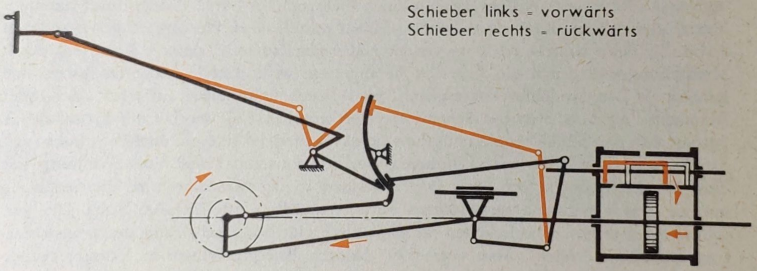


Abb. 2 Schiebersteuerung schematisch (Heusinger-Steuerung)

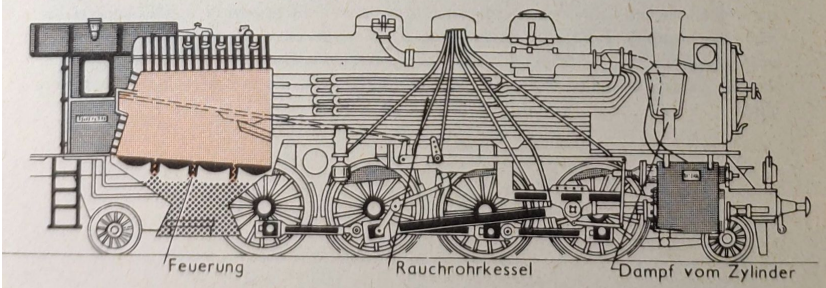


Abb. 3 Schnittbild einer Dampflokomotive

ELEKTRISCHE LOKOMOTIVE

Als Zugmaschine für den Eisenbahnbetrieb hat sich die elektrische Lokomotive gegenüber der Dampflokomotive (s. S. 646) schon seit längerer Zeit in starkem Maße durchgesetzt. Ihre Vorteile liegen darin, daß die Energieerzeugung nicht im Fahrzeug selbst zu erfolgen braucht, sondern an der Quelle der Heiz- bzw. Wasserkräfte vorgenommen werden kann, und daß die elektrische Energie bequem über Land (vgl. Überlandleitung S. 118) der elektrischen Lokomotive durch Schiene und Fahrdraht zugeführt werden kann. Weiterhin besitzt der Elektromotor beim Anlassen sein größtes Drehmoment (vgl. S. 580), da er im Ruhezustand die größte Stromstärke aufnimmt. Diese und damit das Drehmoment werden (wegen der entstehenden elektromotorischen Gegenkraft) um so kleiner, je höher die Umdrehungszahl wird. Diese Verhältnisse wirken sich im Zugbetrieb gerade günstig aus: Man benötigt eine hohe Anfahrleistung, um den Zug ins Rollen zu bringen, eine kleinere Leistung genügt, um ihn in Fahrt zu halten.

Die Übertragung der elektrischen Energie in mechanische Energie kann durch Einzelantrieb der Räder oder Achsen durch je einen Elektromotor (Abb. 1) oder durch Sammelantrieb der Achsen durch einen großen Motor mittels eines Pleuelgestänges geschehen (Abb. 2). Beim Einzelantrieb verwendet man schnellaufende kleinere Motoren, deren Umdrehungszahl durch ein Getriebe herabgesetzt wird. Große Motoren lassen sich leichter als Langsamläufer konstruieren. Sie arbeiten unmittelbar auf einer Lauf- oder Blindachse. In Abb. 3 ist das Schema einer elektrischen Lokomotive mit Einzelantrieb gezeigt: Mit den Schleifbügeln entnimmt sie die elektrische Energie dem Fahrdraht (vgl. Straßenbahn S. 664). Es wird Einphasen-Wechselstrom von 15000 Volt Spannung mit einer Wechselfrequenz von $16^2/_3$ Hz verwendet. In der Maschine wird die Spannung auf die Arbeitsspannung der Motoren heruntertransformiert (300–700 Volt). Die verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten werden durch eine Stufenschaltung des Transformators (s. S. 122) erreicht. Man vermeidet dadurch Energieverluste in Vorschaltwiderständen.

Die stärksten Elektrolokomotiven entwickeln Nennleistungen bis über 5000 PS. Das hohe Gewicht der erforderlichen Transformatoren verleiht diesen Lokomotiven eine hohe Haftreibung zwischen Rädern und Schiene.

Eine Abart der elektrischen Lokomotive ist die dieselelektrische Maschine. Sie erzeugt den erforderlichen Fahrstrom mittels eines von einem Dieselmotor (s. S. 592) angetriebenen Generators (s. S. 94) und vereinigt so die Vorteile einer dezentralisierten Energieversorgung mit den Vorteilen des elektrischen Antriebs. Dieselelektrische Lokomotiven werden gegenwärtig bevorzugt auf Strecken eingesetzt, die nur teilweise elektrifiziert sind.

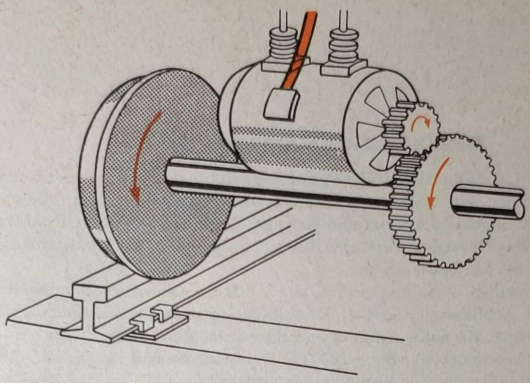


Abb. 1 Einzelachsantrieb schematisch

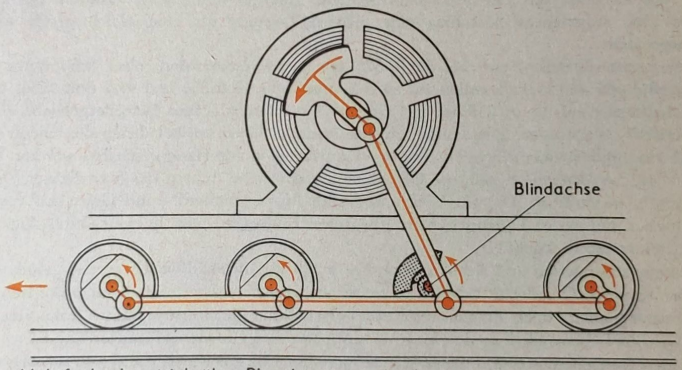


Abb. 2 Mehrfachachsantrieb über Pleuelgestänge durch einen Motor

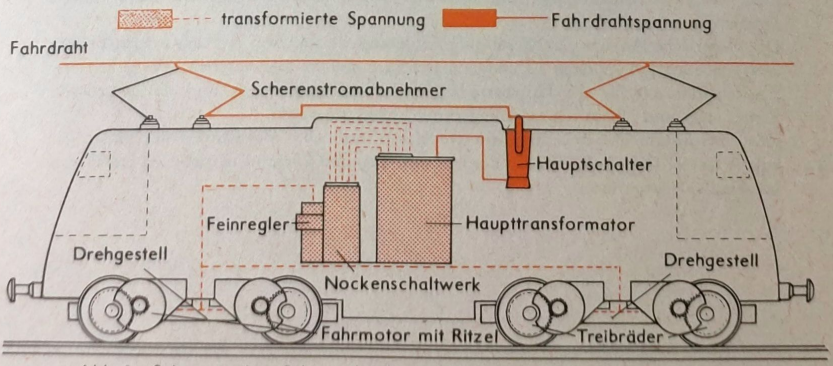


Abb. 3 Schematischer Schnitt durch eine elektrische Lokomotive

DIESELLOKOMOTIVE

Diesellokomotiven sind wirtschaftlich, schnell einsatzbereit und können rasch mit neuem Kraftstoff versehen werden. Sie haben einen besseren Wirkungsgrad als Dampflokomotiven, die zudem lange angeheizt werden und sperrige Kohle mit sich führen müssen. Außerdem benötigen Diesellok nicht die teuren Fahrleitungen und Stromverteileranlagen, die für Elektrolokomotiven erforderlich sind.

Der Aufbau einer modernen Diesellokomotive, der V 320 der Deutschen Bundesbahn, ist aus nebenstehender Abbildung ersichtlich. Diese Lok besitzt zwei voneinander unabhängige Maschinenanlagen, die auf je ein Drehgestell arbeiten. Zum Antrieb dienen zwei 16-Zylinder-Viertakt-Dieselmotoren von je 2000 PS. Die Motoren sind aufgeladen, d. h., ein Radialgebläse preßt die für die Verbrennung notwendige Luft in die Zylinder. Das Radialgebläse wird von einer kleinen Gasturbine (s. S. 76) angetrieben, die die in den Abgasen des Dieselmotors enthaltene Energie weitgehend ausnutzt. Dadurch hat eine aufgeladene Maschine eine größere Leistung als eine gleich große nicht aufgeladene.

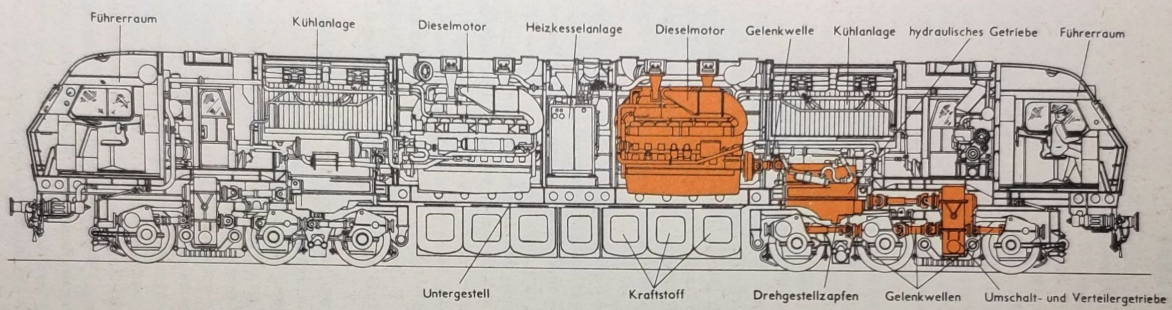
Die Antriebsleistung wird bei der V 320 von den Dieselmotoren über Schwingmetallkupplungen und Gelenkwellen auf zwei hydraulische Getriebe und von dort über eine Gelenkwelle auf die im Drehgestell eingebauten Umschalt- und Verteilergetriebe (UV-Getriebe) übertragen. Diese sind rein mechanische Getriebe, bei denen die beiden Geschwindigkeitsbereiche Schnellgang und Langsamgang von Hand geschaltet werden. Von hier aus werden durch mehrere Gelenkwellen sämtliche Achsen des betreffenden Drehgestells angetrieben. Das im Dieselmotor, im Motorschmieröl- und Getriebeölwärmetauscher und in den Ladeluftkühlern erwärmte Kühlwasser wird in einer Kühlanlage mit Lüfterantrieb rückgekühlt.

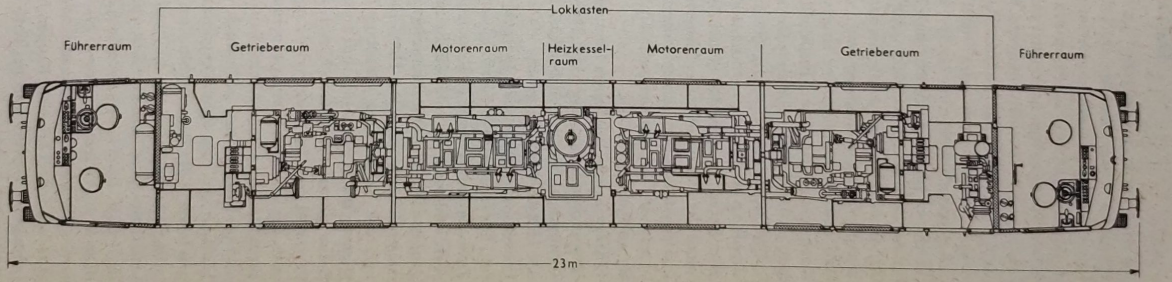
Untergestellrahmen und Kastenaufbau der V 320 sind in Stahlleichtbauweise geschweißt. Der Kastenaufbau ist in Schalenbauweise ausgeführt und mit dem Untergestellrahmen zu einer gemeinsamen Tragkonstruktion verschweißt. Der Innenraum des Lokkastens ist durch Zwischenwände in den Motorenraum mit der Heizdampfkesselanlage (s. u.), die beiden Getrieberäume und die an jedem Ende der Lok liegenden Führerräume aufgeteilt.

Die Lok hat Scheibenbremsen mit je einem Bremsenpaar an jedem Rad und eine zusätzliche Magnetschienenbremse, die auch bei hohen Geschwindigkeiten einen kurzen Bremsweg ermöglicht.

Die elektrische Anlage der Diesellokomotive besteht aus zwei mit den beiden Flüssigkeitsgetrieben gekuppelten Lichtanlaßmaschinen, die die Bleibatterien, die elektrischen Antriebsmotoren für die Hilfsbetriebe, die Beleuchtungsanlage und die elektrischen Steuerungs- und Überwachungsanlagen mit Strom versorgen.

Zur Versorgung der Reisezüge mit Heizdampf und zum Vorwärmen der Maschinenanlage ist die Diesellok V 320 außerdem mit einer mit Dieselöl betriebenen Heizdampfkesselanlage ausgerüstet.


Führerraum
Kühlanlage
Dieselmotor
Heizkesselanlage
Dieselmotor
Gelenkwelle
Kühlanlage
hydraulisches Getriebe
Führerraum
Untergestell
Kraftstoff
Drehgestellzapfen
Gelenkwellen
Umschalt- und Verteilergetriebe


Lokkasten
Führerraum
Getrieberaum
Motorenraum
Heizkessel-raum
Motorenraum
Getrieberaum
Führerraum
23m

DRUCKLUFTBREMSE

Die Aufgabe einer Zugbremse ist es, Bewegungsenergie durch Umwandlung in Wärmeenergie zu vermindern. Im gleichen Maß, wie durch Bremsen die Geschwindigkeit eines Zuges verringert wird, erwärmen sich die Bremsbacken. Ist der Bremsvorgang beendet, kühlen sie ab, wobei die entstandene Wärmeenergie an die Luft abgegeben wird. Die einfachste Bremsanlage finden wir bei der sogenannten Feststellbremse (Abb. 1). Um eine Lokomotive oder einen einzelnen Wagen am Wegrollen zu hindern, ist nur eine relativ geringe Anpreßkraft für die Bremsklötze nötig. Diese kann durch geeignete Hebelübersetzung mit Muskelkraft aufgebracht werden. Über ein Handrad erfolgt der Antrieb einer Gewindespindel auf eine Mutter, die sich nicht drehen kann. Je nach Drehrichtung des Handrades gleitet die Mutter auf- oder abwärts und drückt über Gestänge und Hebel die Bremsklötze an die Laufräder oder hebt sie ab.

Um die erforderliche große Reibung zwischen Rad und Bremsklotz herzustellen, die einen fahrenden Zug abbremsen kann, genügt die beschriebene Bremse nicht; in diesem Fall wird eine Druckluftbremse eingesetzt (Abb. 2a und 2b). Die Anlage besteht aus einem Kompressor, der einen Hauptluftbehälter, über das Führerbremsventil die Hauptluftleitung und von da aus die an jeder Achse angebrachten Hilfsluftbehälter mit Druckluft versorgt. Die Hauptluftleitung der zusammengekoppelten Waggons ist durch mit Schnellkupplung versehene Druckschläuche verbunden. Wenn die Bremse gelöst ist (Abb. 2a), dann herrscht auf beiden Seiten des Kolbens gleicher Druck. Dieser Kolben liegt infolge seines Gewichts auf seiner Unterlage auf und sperrt so den Zugang der Druckluft zum Bremszylinder, der mit der Außenluft in Verbindung steht, ab. Ein solcher Bremszylinder ist an jeder Achse angebracht. Er ist über Kolben, Kolbenstange und Gestänge mit dem Bremsklotz verbunden.

Will der Lokomotivführer bremsen, so bringt er den Griff des Führerbremsventils in die entsprechende Stellung (Abb.2b). Dadurch wird die Hauptluftleitung mit der Außenluft verbunden, die Druckluft strömt aus und der Druck sinkt. Jetzt ist der Druck in jedem der Hilfsluftbehälter größer als in der Hauptluftleitung. Dadurch wird der Kolben des Bremsventils nach oben gedrückt und gibt gleichzeitig den Zugang zum Bremszylinder frei. Die Druckluft strömt in diesen ein, überwindet die Kraft der Feder (die bei entlastetem Zylinder den Kolben in seine Ausgangsstellung zurückschiebt), drückt den Kolben zurück und preßt dadurch die Bremsklötze an die Räder. Nach Beendigung des Bremsvorganges wird das Führerbremsventil wieder in seine alte Stellung gebracht. Durch einen geringen Überdruck in der Hauptluftleitung wird der Kolben wieder nach unten gedrückt und die Verbindung zwischen Hauptluftleitung und Hilfsluftzylinder bzw. zwischen Bremszylinder und Außenluft hergestellt.

Sollte einmal ein Druckschlauch abreißen oder platzen, so entleert sich die Hauptluftleitung und bei allen Wagen des Zuges setzt der Bremsvorgang ein. Im gleichen Sinne wirkt auch das in jedem Wagen angebrachte Notbremsventil, das z. B. in Personenwagen über einen Drahtzug von verschiedenen Stellen aus betätigt werden kann. Die oben beschriebene Luftdruckbremse heißt nach ihrem Erfinder Westinghouse-Bremse. Sie besitzt den Nachteil, daß eine einmal gegebene Bremseinstellung nur über den Umweg der vollständigen Lösung der Bremse gelockert werden kann. Dies kann sich bei abschüssigen Strecken gefährlich auswirken. Ist die Bremse zu stark angezogen, so bleibt der Zug mitten auf der Gefällstrecke stehen. Die Zeit, die zum Lösen und erneuten Anziehen der Bremse erforderlich ist, kann aber ausreichen, dem Zug infolge des Gefälles eine überhöhte Geschwindigkeit zu verleihen. Diesen Nachteil vermeidet eine Weiterentwicklung der Westinghouse-Bremse durch Kunze-Knorr, bei der der Bremszylinder zwei Kammern und entsprechend zwei koaxiale Kolben besitzt. Mittels des zweiten Kolbens läßt sich über ein besonderes Steuerventil bei Erhöhung des Luftdruckes in der Hauptleitung die Bremse stufenweise lösen.

Abb. 1 Feststellbremse

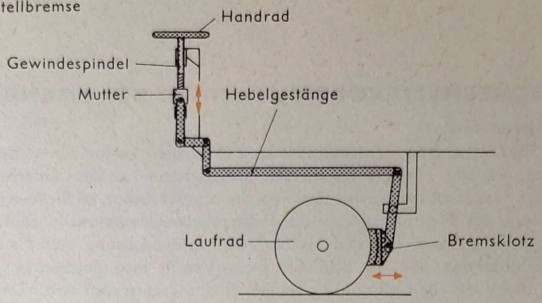


Abb. 2a Zugbremse gelöst

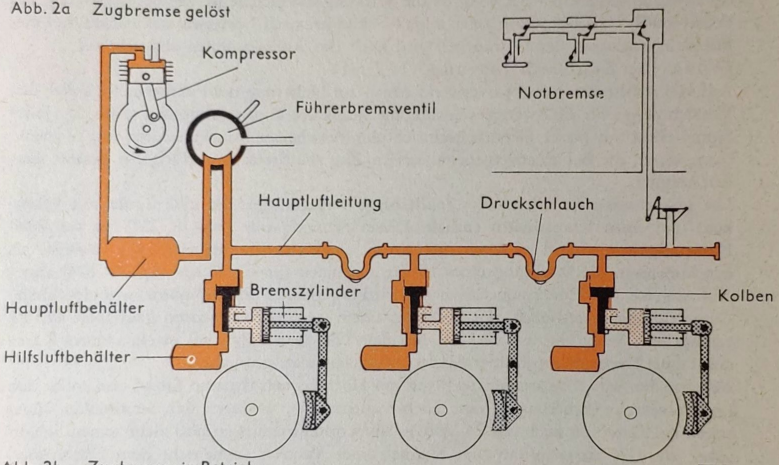
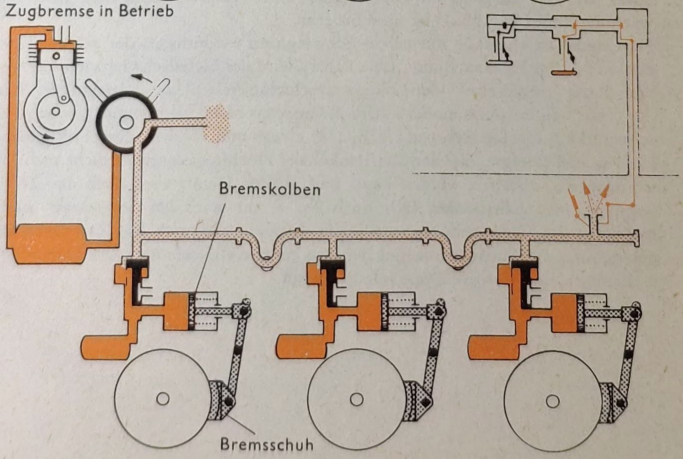


Abb. 2b Zugbremse in Betrieb



SICHERHEITSVORRICHTUNGEN DER EISENBAHN

Zwangsbremsung

Mit der Fahrkurbel von Triebwagen oder elektrischen Lokomotiven ist ein Kontakt verbunden, der beim Niederdrücken einen elektrischen Stromkreis unterbricht (Abb. 1). Wird durch Loslassen der Kurbel der Stromkreis geschlossen, so fließt der Strom durch die Wicklung des Elektromagneten des Führerüberwachungsventils. Dadurch wird der Eisenkern herabgezogen und schließt das Ventil in der Leitung vom Hauptluftbehälter zur Hauptluftleitung. Mit dem Schließen dieses Ventils wird gleichzeitig ein Ventil freigegeben, durch das die Luft aus der Hauptluftleitung entspannt wird. Dadurch werden die Bremsen ausgelöst (s. S. 652), da die Wirkung die gleiche ist wie bei Betätigung des Bremsventils. Die Bremsung setzt 4 bis 6 Sekunden nach Loslassen der Fahrkurbel ein. Mit dem Loslassen der Fahrkurbel wird auch der Antriebsmotor abgeschaltet.

Induktive Zugbeeinflussung (Indusi)

Auf viel befahrenen Strecken verwendet man zur Sicherung des Fahrbetriebes außer den Vorrichtungen für die Zwangsbremsung die induktive Zugbeeinflussung (Abb. 2). Jedes Signal einer mit dieser Sicherheitseinrichtung versehenen Strecke besitzt eine Vorrichtung, durch die bei einem vorbeifahrenden Zug die Bremsen in Tätigkeit gesetzt werden können.

Die Lokomotive ist mit einer „Sendeanlage" ausgerüstet, die eine Spule mit Eisenkern und einen Kondensator enthält. Dieser Schwingkreis (vgl. S. 234) ist auf 2000 Hertz abgestimmt und wird mit dem Strom eines Hochfrequenzdynamos gespeist, an den außerdem die Wicklung eines Elektromagneten für ein Relais (vgl. S. 124) angeschlossen ist. Der Hochfrequenzdynamo wird durch einen Elektromotor oder eine kleine Dampfturbine angetrieben, die noch mit einem Gleichstromdynamo gekuppelt ist. Er erzeugt eine Spannung von 24 Volt. Mit dem Gleichstromdynamo ist ein zweites Relais nebst zwei Kontrollampen über das Hochfrequenzrelais geschaltet.

Arbeitet die Antriebsmaschine, so liefert der Hochfrequenzdynamo Strom und speist den Lokomotivschwingkreis und das Hochfrequenzrelais, wodurch der Schaltanker angezogen ist. Damit ist auch das 24-Volt-Relais stromdurchflossen und zieht seinen Schaltanker an. Die Stromzufuhr zum Magnet eines Ventiles (entspricht dem Führerüberwachungsventil in Abb. 1) ist unterbrochen.

Das Signal ist ebenfalls mit einem Schwingkreis ausgerüstet, der auf 2000 Hertz abgestimmt ist. Bei Signalstellung „freie Fahrt" wird der Signalschwingkreis kurzgeschlossen und damit „verstimmt", der Lokomotivschwingkreis bleibt unbeeinflußt. Wird jedoch das „Halt"-Signal überfahren (Signalschwingkreis nicht „verstimmt"), so wird der Signalschwingkreis infolge Resonanz (s. S. 234) erregt und entzieht dem Lokomotivschwingkreis so viel Energie, daß der Schaltanker des Hochfrequenzrelais nicht mehr vom Elektromagneten gehalten werden kann und abfällt. Damit wird auch das 24-Volt-Relais stromlos, sein Schaltanker fällt auch ab. Somit wird der Stromkreis zum Elektromagneten des Überwachungsventiles geschlossen, wodurch die Zwangsbremsung eingeleitet und die Antriebsmaschine der Lokomotive abgeschaltet wird. Dabei erlischt Kontrollampe a, und Kontrollampe b leuchtet auf.

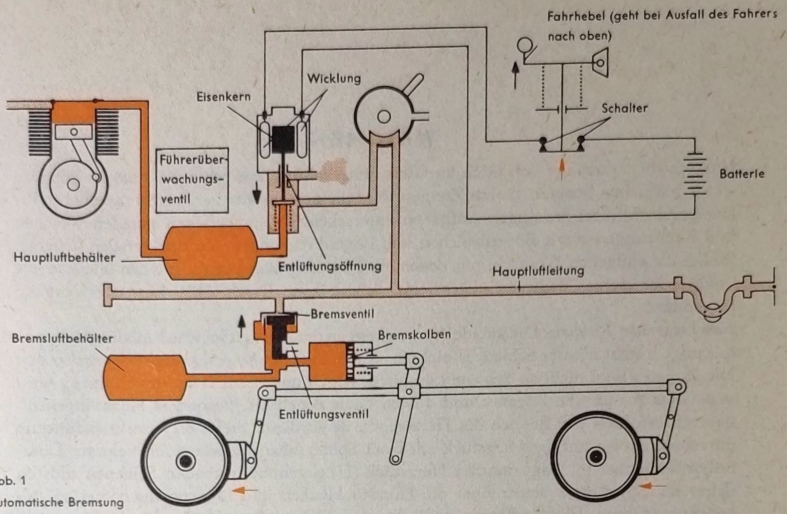


Abb. 1
Automatische Bremsung

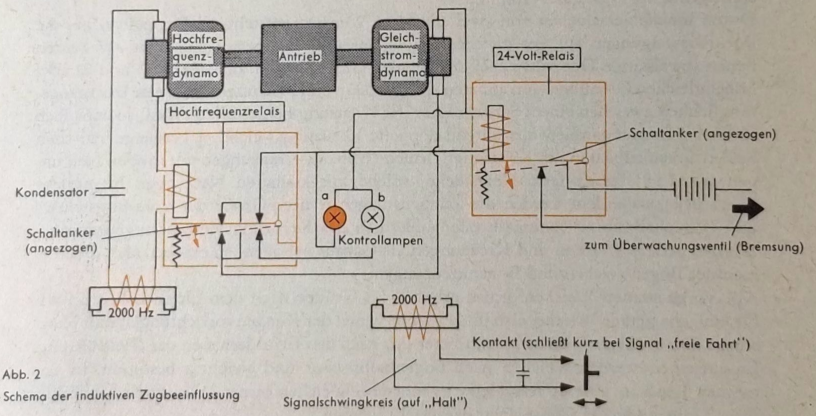


Abb. 2
Schema der induktiven Zugbeeinflussung

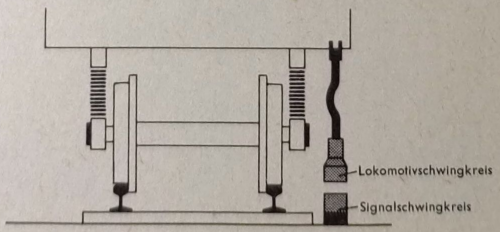


Abb. 3
Äußere Anlage der induktiven Zugbeeinflussung

WEICHEN

Um Schienenfahrzeuge von Gleis zu Gleis ohne Fahrtunterbrechung führen zu können, werden Weichen benutzt. Durch Zungen wird die gewünschte Fahrtrichtung eingestellt. Entsprechend ihrer jeweiligen Aufgaben unterscheidet man zwischen geraden Weichen und Kreuzungen sowie Bogenweichen und Bogenkreuzungen. Zu den geraden Weichen zählen die einfachen Weichen, mit denen ein Fahrzeug von einem geraden Gleis in die linke (oder rechte) Richtung abgezweigt werden kann. Nach Abb. 1 ist der Vorgang folgender:

Fahrt in gerader Richtung: Die gerade Zunge a liegt an der geraden Schiene I an, die gekrümmte Zunge b steht mit der Schiene II nicht in Verbindung; *Fahrt vom geraden Gleis nach rechts:* Die Zunge a liegt nicht an Schiene I an, dafür liegt Zunge b an II an, das Fahrzeug wird von Gleis A über die Bögen c und d nach Gleis B geführt. Besondere Sicherungsmaßnahmen erfordert der Bereich des Herzstücks, da an dieser Stelle die Spurkranzführung unterbrochen ist und das Herzstück mit einer Spitze (also abgeschwächt) beginnt. Überhöhte Radlenker (e) längs der dem Herzstück (H) gegenüberliegenden Schienen müssen daher die Spurkränze sicher über die Herzstücklücken und führungslosen Stellen (bis zu 28 cm) führen; Flügelschienen (f) übertragen die lotrechten Kräfte, bis das Herzstück stark genug ist (vgl. auch Abb. 5).

Durch Ineinanderschieben von zwei einfachen Weichen entsteht die Doppelweiche, die ihre Abzweigungen auf der gleichen Seite (einseitige Doppelweiche) oder auf beiden Seiten (zweiseitige Doppelweiche) des geraden Gleises haben kann (Abb. 3 und 2). Bei höhengleichen Gleisüberschneidungen spricht man von Kreuzungen. Soll eine Übergangsmöglichkeit zwischen einem Schenkelpaar der Kreuzung hergestellt werden, so entstehen einfache Kreuzungsweichen, während doppelte Kreuzungsweichen Übergänge zwischen beiden Schenkelpaaren der Kreuzung schaffen (Abb. 4). Kreuzungen mit großen Neigungen (bis 1 : 9) haben feste Herzstücke, solche mit kleineren Neigungen bewegliche Herzstücke, außerdem werden die Zungenanlagen je nach Größe der Kreuzungswinkel und Bogenhalbmesser innerhalb oder außerhalb des Kreuzungsvierecks angeordnet.

Werden gerade Weichen und Kreuzungen als Ganzes gebogen, so ergeben sich die Formen der Bogenweichen und Bogenkreuzungen.

Alle vorgenannten Weichenformen arbeiten im Grunde nach dem gleichen Prinzip wie die einfache gerade Weiche, also im Zusammenspiel der Zungenvorrichtungen und Herzstücke. Die Wahl der Weichenform richtet sich nach den Erfordernissen der Gleisführung. Im einzelnen werden Weichen nach Bogenhalbmesser und Neigung bestimmt. In den meisten Ländern gibt es festgelegte (genormte) Weichenformen, die durch Sinnbilder (sog. Linienbilder) in Gleisplänen dargestellt werden.

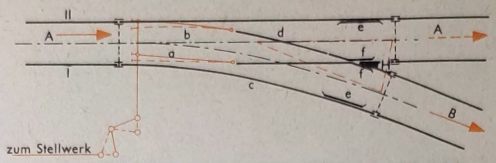


Abb. 1
Wirkungsweise einer einfachen Weiche

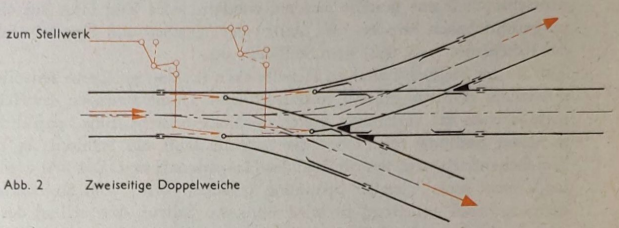


Abb. 2 Zweiseitige Doppelweiche

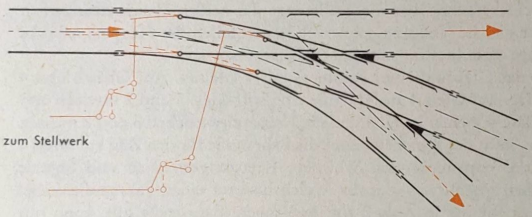


Abb. 3 Einseitige Doppelweiche

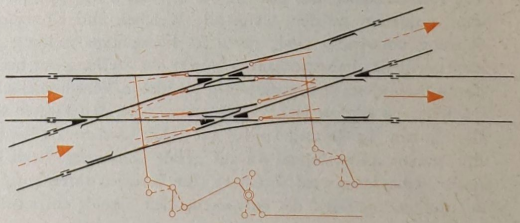


Abb. 4 Doppelte Kreuzungsweiche

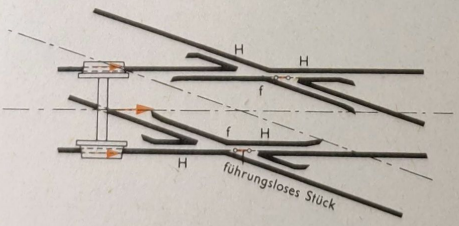


Abb. 5 Detailskizze zum Doppelherzstück

STELLWERK I (MECHANISCHES STELLWERK)

Die Weichen einer Bahnstrecke können nicht wie bei der Straßenbahn (s. S. 664) von der Antriebseinheit aus gestellt werden, sondern jeder Zug fährt auf einer für ihn allein vorgeschriebenen Strecke. Das Stellen der Weichen und Signale erfolgt nach Maßgabe des Fahrplanes (s. S. 662) vom Stellwerk aus.

Abb. 1: Im Stellwerk sind an Hebelböcken drehbar gelagerte Seilrollen angebracht, die mit einem Bedienungshebel verbunden sind. Durch Bewegen des Hebels wird die Seilrolle je nach der verlangten Weichenstellung gedreht. Eine Sperrklinke hält den Hebel in seiner Stellung fest. Über die Seilrolle läuft ein Stahlseil, an dessen Enden der Weichenantrieb bzw. das Stellrad des Hauptsignals sitzt. Das Seil wird durch das Spannwerk stets unter gleicher Spannung gehalten. Wird vom Stellwerksbeamten der Bedienungshebel umgelegt, so wird über den Seilzug das Stellrad des Weichenantriebes und damit der Stellhebel, der im Drehpunkt gelagert ist, um einen bestimmten Winkel gedreht. Der Hebel verschiebt dann über die Stellstange die beiden Weichenzungen in die gewünschte Lage. Der gleiche Vorgang spielt sich beim Stellen des Hauptsignals ab, nur daß hier die Stellstange vom Stellrad aus den Signalarm bewegt.

Abb. 2 zeigt schematisch das Gleisbild eines Bahnhofs mit 4 Gleisen. Auf Gleis 3 und 4 befindet sich je ein Zug. Der auf Gleis 4 ausfahrende Zug soll Gleis 3 und 2 kreuzen und auf Gleis 1 weiterfahren. Die Weichen 1 und 4 und die Kreuzungsweichen 3 und 2 müssen entsprechend gestellt sein. Stellt der Weichenwärter die Fahrstraße für den Zug auf Gleis 4 ein, muß er die Hebel der entsprechenden Weichen, Kreuzungsweichen und Signale betätigen. Sind die Weichen gestellt, so legt der Weichenwärter einen Fahrstraßenhebel um. Dieser Hebel, der nur für die in Abb. 2 rot gezeichnete Fahrstraße gilt, kann nur dann umgelegt werden, wenn alle Weichen und Kreuzungen, die für diese Streckenführung notwendig sind, zuvor in die richtige Stellung gebracht wurden. Diese Abhängigkeit des Fahrstraßenhebels von der Stellung der betreffenden Weichenhebel wird durch besondere, sich gegenseitig sperrende Verschlußstücke hergestellt. Für jede Fahrstraße ist ein eigener Hebel vorgesehen. Alle Hebel lassen sich nur dann einstellen, wenn alle Signale (1a–4a und 1e–4e) auf „Halt" stehen. Ist die Fahrstraße eingestellt, so sind alle Signale außer Signal 4a auf „Halt" blockiert. Nach Freigabe der Fahrstraße vom Aufsichtsbeamten wird Signal 4a vom Weichenwärter auf „Grün" geschaltet. Dabei wird der Bedienungshebel des entsprechenden Signals entriegelt: Der Zug auf Gleis 4 kann auslaufen.

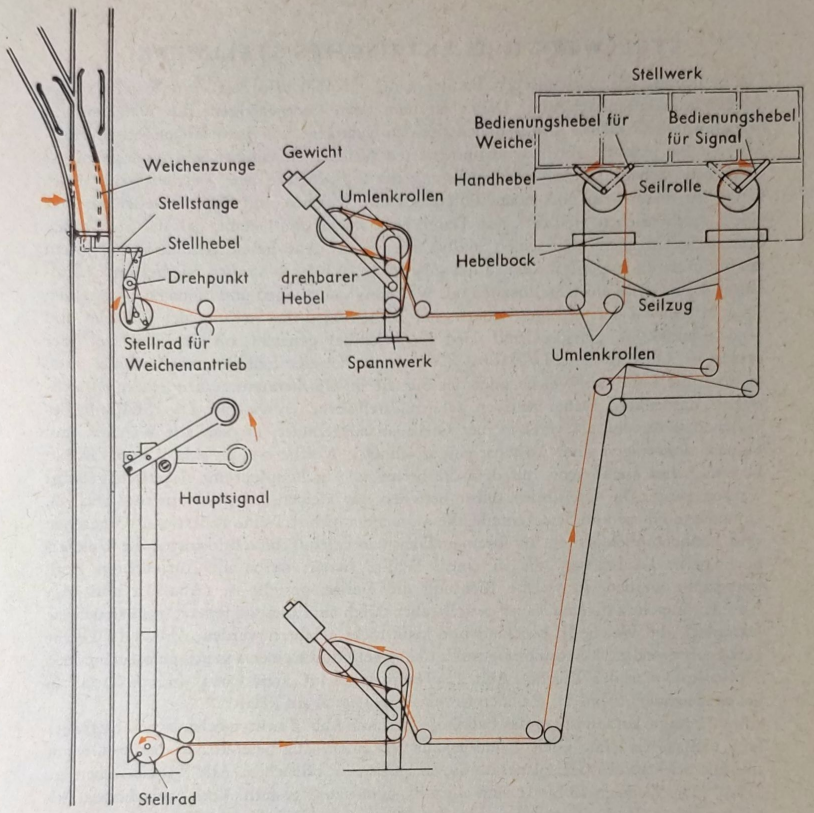


Abb. 1 Stellwerkanlage mit Weiche und Signal

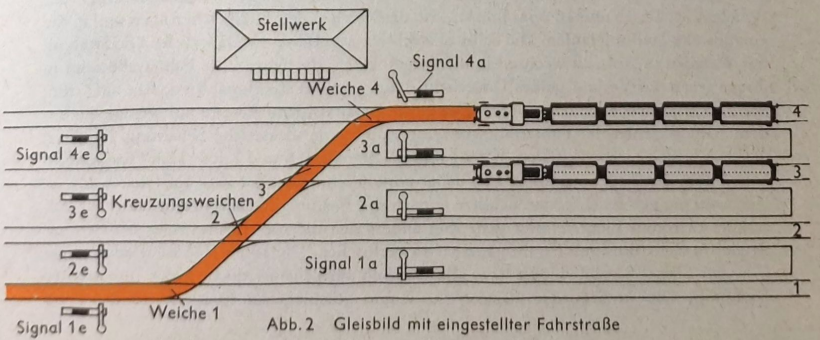
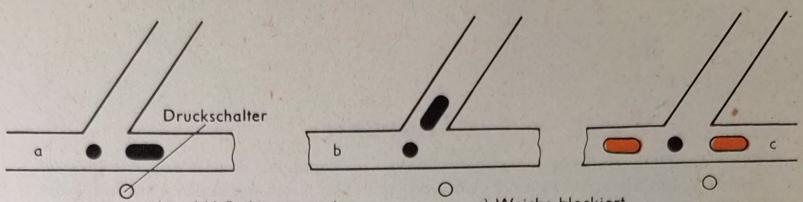


Abb. 2 Gleisbild mit eingestellter Fahrstraße

STELLWERK II (ELEKTRISCHES STELLWERK)

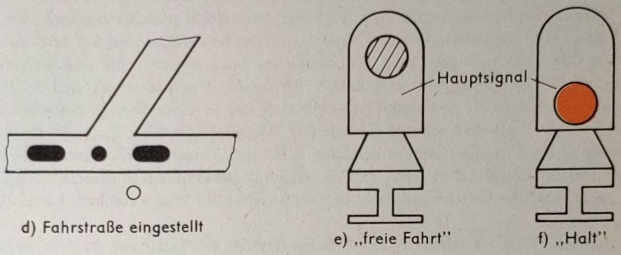
Die Bedienung des mechanischen Stellwerks (s. S. 658) erfordert vom Weichensteller erhebliche Kraftanstrengung. Daher ist man dazu übergegangen, die Weichen und Signale mit Hilfe kleiner Motoren elektrisch zu betätigen. Auf einem langen Pult im Stellwerk ist für jede der fortlaufend numerierten Weichen ein eigener Schalter angebracht; ebensolche Schalter dienen zur Betätigung der Signale. Da diese Schalter wenig Platz benötigen, kann man von einem Pult aus mehr Weichen und Signale stellen als von einem mechanischen Stellwerk aus. Damit aber wächst die Gefahr, daß der Stellwerksbeamte die Übersicht über seinen Stellbereich verliert. Aus diesem Grunde ist vor jedem der Stellpulte in Augenhöhe eine Tafel angebracht, auf der — ähnlich wie bei einer Landkarte — die Gleise eines Stellbezirks mit Weichen, Kreuzungen und Signalen eingetragen sind. Mittels kleiner, farbiger, elektrischer Birnen wird die Stellung der Weichen und Signale angezeigt. Entsprechend wird auch sichtbar gemacht, ob ein Gleis frei oder besetzt ist. Obwohl diese Tafel für den Weichensteller eine Erleichterung bedeutet, muß er doch die Lage der Weiche oder der Signale in Weichennummern oder Signalbuchstaben umdenken. Daher wurden Gleisbildstellwerke entwickelt. Das Stellpult des Weichenwärters ist als vereinfachter Gleisplan ausgebildet, in dem alle Weichen und Signale eingetragen sind. An jeder eingezeichneten Weiche und an jedem Signal ist ein Druckschalter angebracht, mit dem die betreffende Stelleinrichtung elektrisch betätigt werden kann. Die Gleislinien selbst bestehen aus kleinen Leuchtkammern (Abb. 2). Unbesetzte Gleise und Streckenteile, die momentan nicht für eine Fahrstraße vorgesehen sind, bleiben unbeleuchtet. Auf ihrem im Gleisplan vereinfachten Bild tragen die Weichen noch gelbe Glühbirnen, die in einem Schlitz sitzen; durch ihr Aufleuchten kann festgestellt werden, in welche Richtung die Weiche gestellt ist (Abb. 1a und 1b). Abb. 1c: Weiche auf „geradeaus" gestellt, aber durch ein Fahrzeug besetzt (rot erleuchtete Kammer); die Weiche ist blockiert und kann nicht befahren werden. Abb. 1d: Weiche geradeaus gestellt, Fahrstraße eingestellt (dargestellt durch einen zweiten gelbleuchtenden Schlitz links von der Weiche). Abb. 1e: Hauptsignal auf „freie Fahrt" (durch Grünlicht gekennzeichnet). Abb. 1f: Zeichen für ein Hauptsignal auf „Halt".

Abb. 2a zeigt den Gleisplan des Bahnhofes wie auf Abb. 2 beim mechanischen Stellwerk (s. S. 658). Gleis 3 und Gleis 4 sind jeweils von einem Zug besetzt. Aus diesem Grunde sind die Schlitze des Gleisplanes an diesen Stellen rot erleuchtet. Alle Signale stehen auf „Halt". Die Weichen 13 bis 16 sind alle auf „geradeaus" gestellt. Vom Aufsichtsbeamten kommt nun z. B. die Anweisung, eine Fahrstraße von Gleis 4 nach Gleis 1 einzustellen. Diesen Auftrag erkennt der Weichensteller am gelben Aufblinken der bislang unbeleuchteten Schlitze im Gleisplan entlang der einzustellenden Fahrstraße. Er bedient sodann gleichzeitig die Schalter 8 und 17. Das Aufblinken der gelben Meldeleuchten der Weichen 13, 14, 15 und 16 zeigt ihm an, daß die Weichen dem Stellbefehl folgen und in die gewünschte Stellung laufen. Die Schlitze wechseln von Blink- zu Dauerlicht. Die Stellung der Weichen in Abb. 2a wechselt in die von Abb. 2b, die eingestellte Fahrstraße zeigt in ihrem gesamten Verlauf gelbes Dauerlicht. Nun wechselt das Signal 8 von Rot auf Grün, der Zug auf Gleis 4 kann auslaufen. Der ganze Schaltvorgang dauerte nur wenige Sekunden. Alle Weichen der Fahrstraße sind nun durch eine elektrische Schaltung blockiert und lassen sich nicht verstellen. Ferner sind die Signale 5, 6 und 7 auf „Halt" festgestellt. Eine Fahrt des Zuges auf Gleis 3 ist daher unmöglich. Fährt der Zug auf Gleis 4 aus, so wechseln die gelbleuchtenden Schlitze je nach der Position des Zuges Abschnitt für Abschnitt zu rotem Licht. Hinter dem Zug ändert sich die rote Beleuchtung der Schlitze wieder in Gelb, um kurz darauf gänzlich zu verlöschen. Die Fahrstraße ist wieder aufgelöst, das Signal 8 zeigt wieder Rot; alle Weichen verbleiben jedoch in der eingestellten Richtung. Die Anzeige der Position des Zuges geschieht selbsttätig durch den Zug.



a) und b) Richtungsanzeige c) Weiche blockiert

Abb. 1 Weichen und Signalstellungen



d) Fahrstraße eingestellt e) „freie Fahrt" f) „Halt"

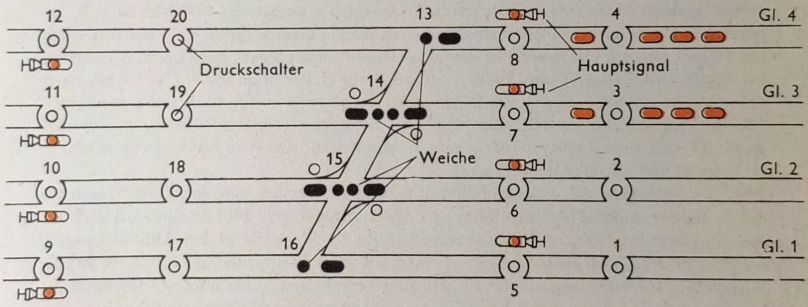
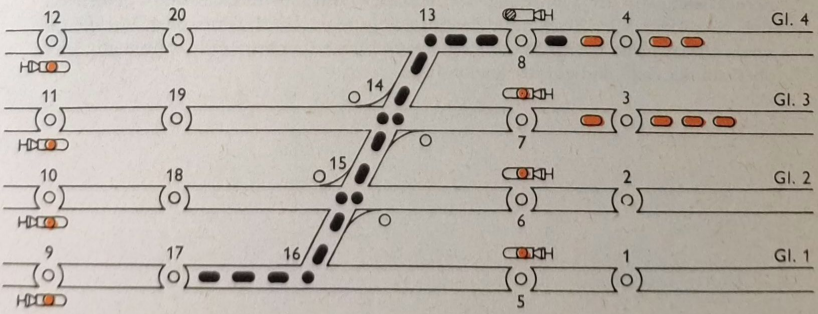


Abb. 2a Gleisplan mit zwei besetzten Gleisen

Abb. 2b Gleisplan mit eingestellter Fahrstraße

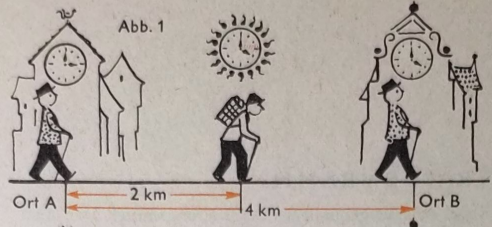


FAHRPLAN

Der Fahrplan entsteht nach einem zeichnerischen Verfahren, das das folgende Beispiel erläutert: Ein Mann bricht um 15 Uhr von einem Ort A auf, um in den 4 km entfernten Ort B zu gelangen. Wenn er um 16 Uhr in B eintrifft (Abb. 1), hat er in 1 Stunde 4 km zurückgelegt. An der senkrechten Geraden in Abb. 2 trägt man in gleichmäßigen Abständen die Uhrzeit auf, an der waagerechten Geraden die Kilometer und die Orte A und B. Während der Mann einen bestimmten Weg zurücklegt, verstreicht gleichzeitig auch eine bestimmte Zeit. Trägt man also auf der Zeitgeraden eine bestimmte Zeit auf und auf der Weggeraden den zurückgelegten Weg, so erhält man durch waagerechte und senkrechte Verbindung z. B. die Schnittpunkte X und Y. Unter der Voraussetzung, daß der Wanderer immer gleich schnell gegangen ist, stellt sich der in einer Stunde zurückgelegte Weg von A nach B als eine schräge Gerade dar (Beispiel 1 in Abb. 2); geht ein zweiter Wanderer (Abb. 1) langsamer (er benötigt z. B. von A nach B zwei Stunden), so ist die Gerade steiler (Beispiel 2 in Abb. 2). Die Neigung der Geraden in diesem Weg-Zeit-Schaubild zeigt also die Geschwindigkeit an, mit welcher der Weg zwischen A und B zurückgelegt wurde.

Liegt auf halbem Weg zwischen A und B beispielsweise ein Gasthaus, in dem sich der erste Wanderer $^1/_2$ Stunde aufhält (Abb. 3), so gelangt er erst um 16^{30} Uhr nach B. Im Schaubild erscheint der Aufenthalt als eine senkrechte Gerade (Abb. 4). Vom Aufbruch um 16 Uhr bis zum Ort B verläuft dann die Gerade wieder schräg nach oben. Am Abend bricht nun der Wanderer um 19 Uhr vom Ort B auf und gelangt um 20 Uhr zurück nach dem Ort A. Im Schaubild verläuft dann die Gerade von rechts nach links ansteigend (Beispiel 1 in Abb. 6), da der Mann den Weg in entgegengesetzter Richtung zurücklegt. Beeilt er sich jedoch sehr, so daß er nur 45 Minuten für den Weg benötigt (Beispiel 2 in Abb. 6), so verläuft die Gerade flacher.

Abb. 7 verdeutlicht die unterschiedlichen Geschwindigkeiten, mit denen ein Wanderer, ein Radfahrer und ein Motorroller-Fahrer Wege zurücklegen. Bild 8 zeigt, daß auch die Bildfahrpläne der Bahn im Prinzip nach Maßgabe der Beispiele in den Abb. 1–7 erstellt werden. In der Abb. 8 sind allerdings die Zeit auf der waagerechten, die Stationen auf der senkrechten Geraden eingetragen. Regelmäßig verkehrende Züge sind mit durchgezogenen, Bedarfszüge mit gestrichelten Linien angedeutet. Schnelle Züge sind fett, langsame Züge mager gezeichnet. Unter Berücksichtigung der Daten aus den Fahrzeitentafeln, in denen Angaben über die verschiedenen Lasten der Züge, über die auf der Strecke zulässige Geschwindigkeit, über die Unterwegshalte u. a. errechnet sind, und unter genauer Berücksichtigung der Einhaltung der Sicherheitsabstände (Blockabstand) werden die Zeit-Weg-Linien aller Züge im Bildfahrplan eingetragen. Die Abfahrts- oder Durchfahrtszeiten stehen meist unterhalb der Zuglinie und hinter der Stationslinie, Ankunftszeiten oberhalb der Zug- und vor der Stationslinie.



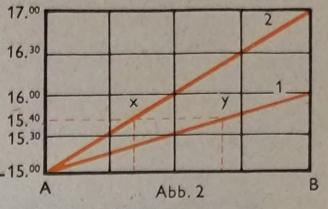
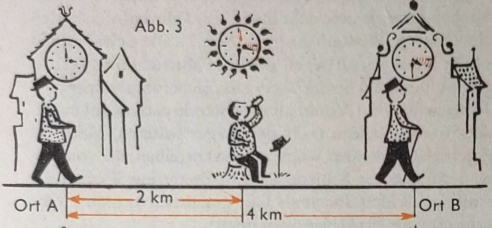


Abb. 2



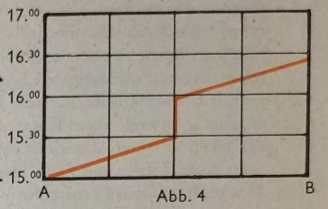
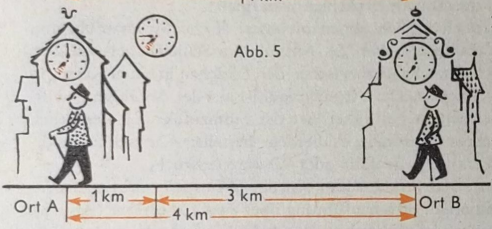


Abb. 4



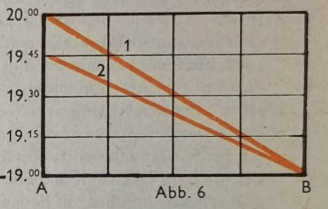


Abb. 6

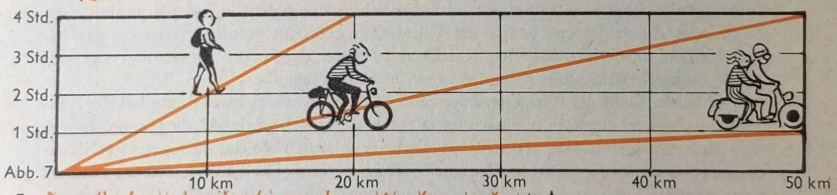


Abb. 7

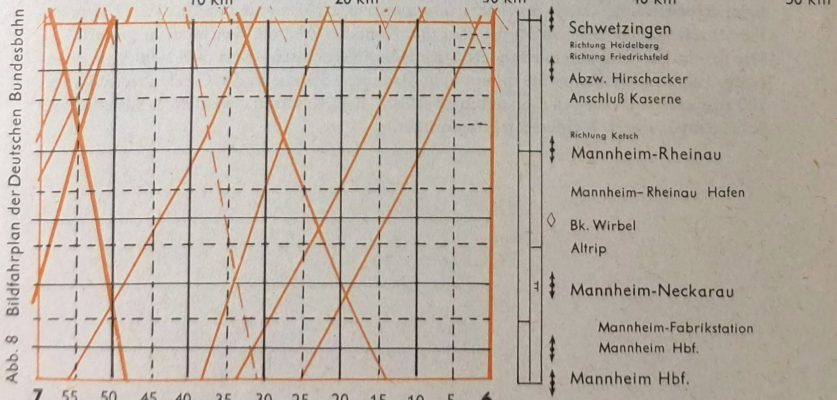


Abb. 8 Bildfahrplan der Deutschen Bundesbahn

STRASSENBAHN

Die Straßenbahn ist ein in der Regel schienengebundenes Beförderungsmittel. Die Zuführung der erforderlichen elektrischen Energie geschieht durch den Fahrdraht (Oberleitung) oder durch eine unterirdische Leitung (Pflasterbahn; vgl. Abb. 2). Das Schema eines Straßenbahntriebwagens zeigt Abb. 1: Vom Schleifbügel, der bei Fahrtrichtungswechsel selbsttätig in die günstigste Lage kippt, fließt der Strom über einen Sicherungshauptschalter mit Hörnerblitzableiter zum Fahrschalter, der Vorschaltwiderstände nach Wahl einzuschalten gestattet. Dann leistet der Strom in beiden (z .B. parallelgeschalteten) Motoren, die jeweils über ein Untersetzungsgetriebe die beiden Wagenachsen antreiben, die von ihm geforderte Arbeit und fließt über die Räder zur Schiene ab. Zur Bremsung können die Motoren als Dynamomaschinen mit den Widerständen als Last geschaltet werden — eine wirksame Bremsmöglichkeit, die die normale Backenbremse ergänzt.

In den USA findet man vereinzelt noch Straßenbahnen mit unterirdischer Stromzuführung, die sogenannten Pflasterbahnen (cablecars; Abb. 2). Anstelle des Schleifbügels auf dem Dach greift ein Kontaktarm durch einen Schlitz zwischen den Schienen in einen Kanal, in dem isoliert eine Stromleitung verlegt ist. Der Stromverlauf ist aus der Abbildung zu ersehen. Die Ausbildung von Weichen ist bei dieser Art der Stomzuführung wesentlich komplizierter als bei oberirdischem Fahrdraht. Außerdem bestehen Kurzschlußgefahren bei Wassereinbrüchen durch starke Regenfälle oder Wasserrohrbrüche.

Ein weiteres elektrisch betriebenes Nahverkehrsmittel ist der O-Bus, ein nicht schienengebundener Omnibus mit doppelpoliger Stromzuführung über zwei Fahrdrähte (Abb. 3). Seinem Ausweichen im Straßenverkehr sind allerdings durch die Länge der Kontaktrollenbügel, die durch Federn gegen die Fahrdrähte gedrückt werden, Grenzen gesetzt. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit steht ihm heute als starker Konkurrent der mit Verbrennungskraftmaschinen angetriebene Omnibus gegenüber.

Abb. 4 verdeutlicht die Wirkungsweise der automatischen Weichenstellung bei der Straßenbahn: In den Fahrdraht ist ein isoliertes Stück, der Weichenkontakt, eingebaut, der mit dem Elektromagneten einer elektromagnetisch verstellbaren Weiche verbunden ist. Gleitet der Bügel über den Kontakt, so durchfließt der Strom, ehe er in den Motoren der Straßenbahn Arbeit leistet, durch den Elektromagneten der Weiche und stellt diese. Fährt der Fahrer mit ausgeschaltetem Motor über den Kontakt, wird die Weiche nicht gestellt.

Die für die Straßenbahn verwendete Stromart ist Gleichstrom von 500–1000 Volt Spannung. Ein Straßenbahnmotor nimmt beim Anfahren Ströme in der Größenordnung von 100 Ampere auf. Um die Spannungsverluste herabzusetzen, werden Stoßstellen im Schienennetz durch Kupferbügel überbrückt.

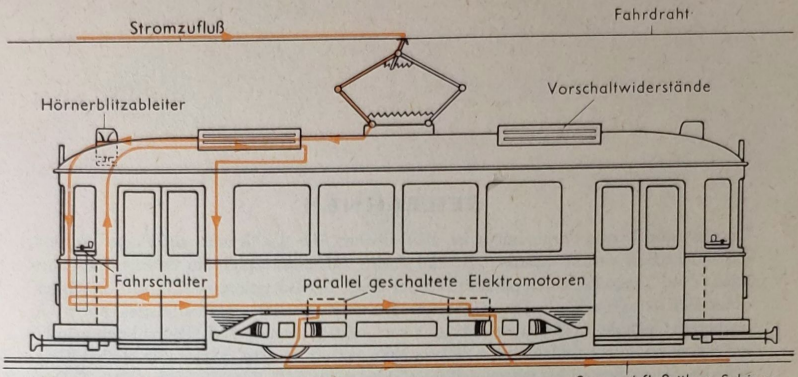


Abb. 1 Elektrische Straßenbahn schematisch

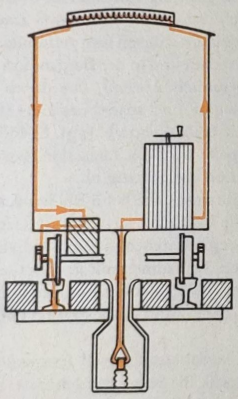


Abb. 2 Pflasterbahn mit unterirdischer Stromzuführung

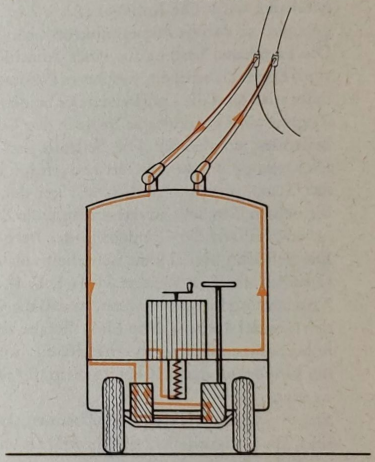


Abb. 3 O-Bus mit zweipoliger oberirdischer Stromzuführung

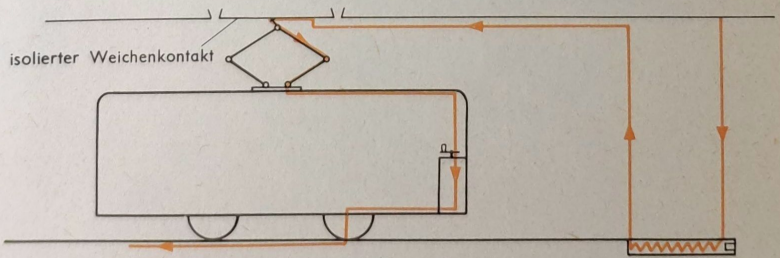


Abb. 4 Automatische Weichenstellung schematisch

SEILBAHNEN

Der gebräuchlichste Bergbahntyp ist die Seilbahn (Abb. 1). Sie fährt auf einem Tragseil, das in der Bergstation verankert ist und in der Talstation durch ein Gewicht gespannt wird. Zwei Tragseile laufen parallel von der Berg- zur Talstation, so daß beim Zweigondelbetrieb jede Gondel ein Tragseil besitzt. Dieses Zweiseilsystem ist allgemein üblich; in flacherem Gelände werden auch mehr als zwei Gondeln eingesetzt, die dann hintereinander auf einem endlosen, umlaufenden Seil angebracht sind. Masten stützen die beiden Tragseile ab. Sie müßen so hoch sein, daß die Kabine nicht (z. B. durch vorspringende Felsen) gefährdet wird. Die Kabinen (Abb. 2 u. 3) hängen an einer Laufkatze; sie sind beweglich gelagert, so daß sie immer senkrecht hängen , unabhängig von der Neigung der Tragseile. Die Laufkatze besteht aus einer Anzahl Seilrollen, die gelenkig miteinander verbunden sind. Dadurch wird ein weicheres Passieren der Stützen erreicht (Abb. 3). Beim Zweigondelbetrieb sind die Laufkatzen der beiden Gondeln mit einem Zugseil fest verbunden. Das Zugseil wird von einer Seilrolle in der Talstation angetrieben und in der Bergstation durch Seilrollen umgelenkt. Die Seilrolle ist mit ihrem gesamten Antrieb, der durch einen Elektromotor über ein Getriebe erfolgt, beweglich gelagert, und spannt das Zugseil über das Gegengewicht. Ähnlich wie bei der Bergbahn mit Seilzugbetrieb (vgl. S. 668) sind die beiden Gondeln an das umlaufende Zugseil gekoppelt; wird das Zugseil in Bewegung gesetzt, fahren die Gondeln in der Berg- bzw. Talstation gleichzeitig ab.

Die Seilbahn besitzt eine Sicherheitseinrichtung (Fangbremse), die beim Reißen des Zugseiles automatisch betätigt wird (Abb. 4). Dabei wird die Laufkatze am Tragseil durch eine Vorrichtung festgeklammert, so daß die Gondel unbeweglich stehen bleibt. Die Fahrgäste der Gondel können dann ohne Gefahr abgeseilt werden. Seilbahnen mit großer Geländehöhe besitzen außerdem ein Hilfsseil; wenn das Zugseil reißt, klemmt sich das Laufwerk der Gondel an dem Hilfsseil selbsttätig fest, und die Gondel kann in die Station eingeholt werden.

Sesselbahnen sind Einzelumlaufbahnen, bei denen die Sessel am Tragseil festgeklammert sind. Das Tragseil dient gleichzeitig als endloses Förderseil, die Sessel werden in der Station bei Fahrt bestiegen oder verlassen. *Schischlepplifte* sind wie die Sesselbahnen konstruiert, nur befinden sich an Stelle der Sessel an gekröpften Bügeln Schleppseile.

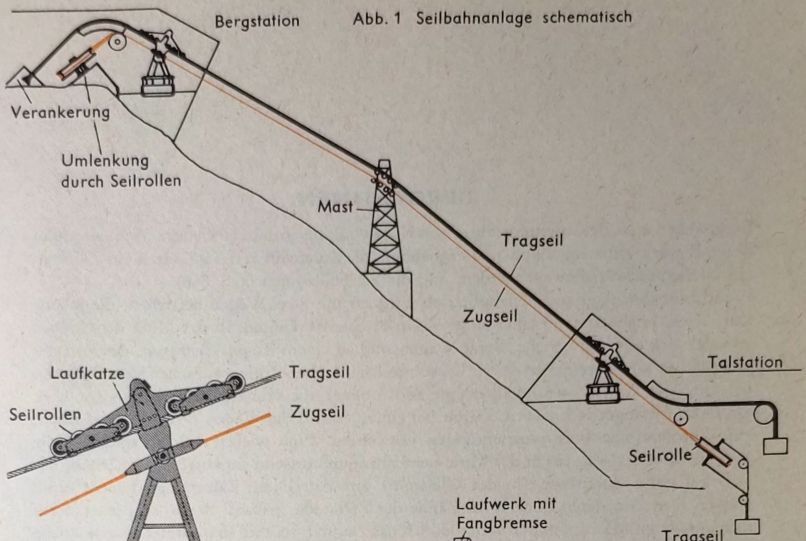


Abb. 1 Seilbahnanlage schematisch

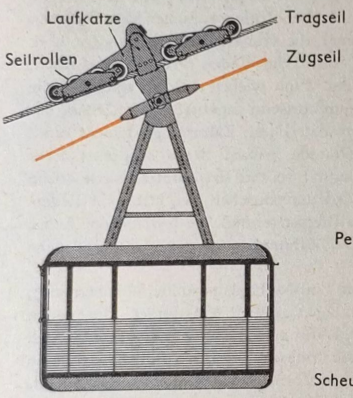


Abb. 2 Kabine schematisch

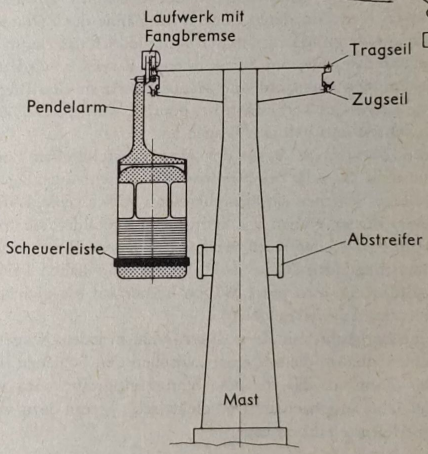


Abb. 3 Gondel passiert einen Mast

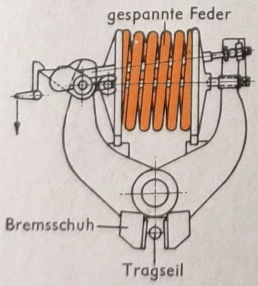


Abb. 4a Sicherheitseinrichtung der Kabine (Fangbremse)

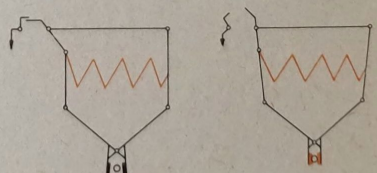


Abb. 4b Funktionsweise der Sicherheitseinrichtung (schematisch)

BERGBAHNEN

Bergbahnen sind Beförderungsmittel zur Überwindung großer Höhenunterschiede. Man unterscheidet schienengebundene Bergbahnen, die durch ein Seil oder durch ein Zahnrad auf Gleisen aufwärtsbewegt werden, und direkte Seilbahnen (s. S. 666).

Eine Bergbahnanlage mit Seilzugbetrieb wird oft mit zwei Wagen betrieben, die talaufwärts bzw. talabwärts auf einer eingleisigen Strecke verkehren. In der Mitte der Strecke befindet sich eine Ausweiche. Beide Wagen sind an einem Zugseil befestigt, das von der Bergstation aus angetrieben wird. Dieses Seil wird über Rollen zwischen den Schienen geführt. Der Antrieb erfolgt über eine Seiltrommel, die von einem Elektromotor über ein Getriebe angetrieben wird. Damit bei einem Seilriß die Wagen nicht talwärts rasen, sind automatische Bremsvorrichtungen notwendig. Eine wichtige Rolle spielt für die Wagensicherung u.a. ein in der Mitte der Fahrzeugunterseite angebrachtes Zahnrad, das sich auf einer Zahnstange in der Gleismitte abwälzt. Diese Zahnstange gleicht einer starren Kette, in deren Lücken die Zähne des Zahnrades passen. Bei Normalfahrt dreht sich das Zahnrad langsam mit. Reißt jedoch das Zugseil, so wird das Zahnrad automatisch abgebremst: Die am Seil wirkende Zugkraft wird unterbrochen, wodurch ein Federsystem sich entspannt und Bremsbacken an eine Bremstrommel, die fest mit der Achse des Zahnrades verbunden ist, gepreßt werden. Das Zahnrad kann keine Drehung mehr ausführen und hält den Wagen an.

Abb. 2 zeigt, daß es an der Ausweichstelle einer Bergbahnanlage keine Weichen gibt, wie man sie z.B. bei Straßen- oder Eisenbahnanlagen (vgl. S. 656) findet. Die beiden äußeren Schienen sind durchlaufend verschweißt. Dafür sind die jeweils außen liegenden Räder beider Wagen wie Seilrollen ausgebildet; sie umfassen mit ihren Führungswangen (Spurkränze) den Kopf der Schiene, dessen Profil pilzförmig ausgebildet ist. Die jeweils innen liegenden Räder sind breiter und haben keine Führungswangen. Durch diese Radführung wird jeder Wagen immer auf die gleiche, in Fahrtrichtung rechts liegende Seite der Ausweiche gelenkt.

Eine Bergbahn mit *Zahnradantrieb* hat in jedem Wagen ein Antriebsaggregat. Sie ist eine Schienenbahn, die auf einer zwischen den Schienen liegenden Zahnstange bewegt wird. Das Zahnrad, das in diese Stange eingreift, wird von einem Elektromotor über ein Getriebe angetrieben. Der elektrische Strom dazu wird durch einen Abnehmer aus der Oberleitung entnommen.

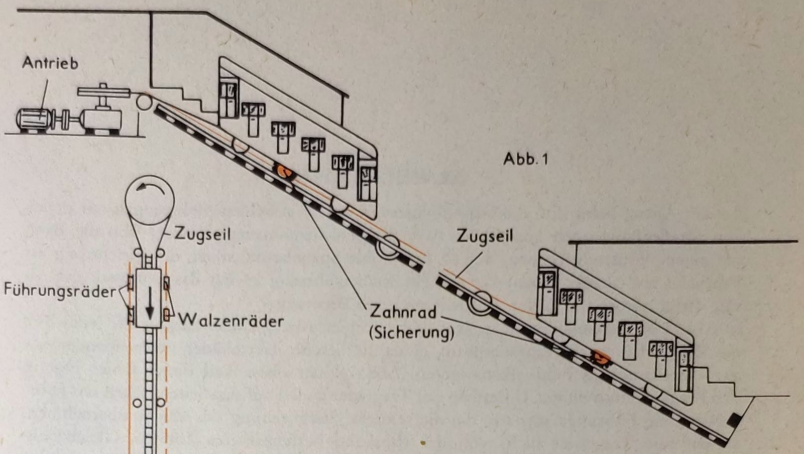


Abb. 1

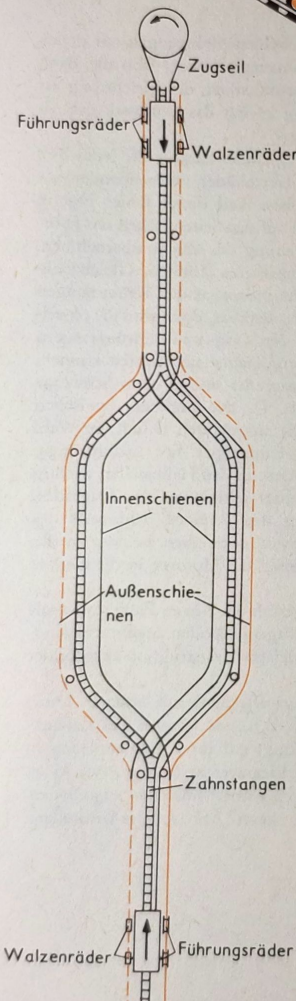


Abb. 2 Ausweichstelle einer Bergbahn mit Seilzugtrieb

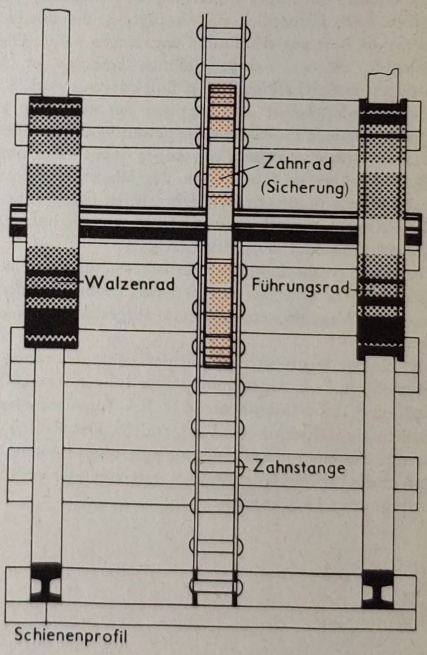


Abb. 3 Laufachse einer Bergbahn mit Seilzugtrieb

ALWEG-BAHN

Bei der Alweg-Bahn sind die Grundkonstruktionen von Schienenfahrzeugen mit denen von Straßenfahrzeugen kombiniert. Wie die Schienenfahrzeuge bewegt sich die Bahn auf einem vorgeschriebenen Weg — hier hohle Spannbetonbalken, die gleichzeitig als Fahrbahn und Träger dienen —, wie ein Straßenfahrzeug besitzt das Laufwerk der Alweg-Bahn luftbereifte Räder, Luftfederung und Bremsen.

In Abb. 1 ist die Gesamtansicht eines dreigliedrigen Alweg-Zuges dargestellt. Jeder Teil des Zuges hat zwei Tragräderpaare, deren luftbereifte Einzelräder nebeneinander auf der Oberkante des Fahrbalkens laufen (Abb. 2). Der obere Teil dieser Räder ragt in den Fahrgastraum hinein. Unterhalb der Tragräder laufen auf den Seitenflächen des Fahrbalkens die Führungsradpaare, die die seitliche Stabilisierung des Zuges übernehmen, so daß die Tragräder nicht von der Fahrbahn herunterlaufen können. Gleichzeitig übernehmen diese Räder auch die Führung des Fahrzeuges, indem sie den Krümmungen der Fahrbahn folgen. Der einzelne Radsatz selbst ist nicht lenkbar, doch sind die einzelnen Glieder des Zuges gegeneinander beweglich. Außer den Trag- und Führungsrädern stehen noch Hilfsrollen zur Verfügung, die das Fahrzeug tragen und führen können, wenn die Luft aus den Reifen entweichen sollte. Die Tragräder sind in einer Schwinge gelagert, die am Fahrzeugrahmen befestigt ist (Abb. 1). Die Federung zwischen Rahmen und Schwinge ist als Luftfederung (vgl. S. 626) ausgebildet. Durch die Wahl dieser Federungsart ist eine von der Belastung des Fahrzeuges her unabhängige, gleichbleibende Fußbodenhöhe gewährleistet, was besonders an den Haltestellen wichtig ist. Die Antriebsmotoren des Zuges (meist Elektromotoren) wirken auf die Tragräder. Die Motoren sind unterhalb des Wagenfußbodens in den Räumen beiderseits des Fahrbalkens untergebracht. Die Antriebswelle führt schräg nach oben zu dem an der Antriebsachse angebrachten Getriebe, das die hohe Drehzahl der Motoren in die niedere der Antriebsräder umwandelt (Abb. 1).

Durch die Ausbildung des Fahrbalkens ergibt sich die Gestalt der Alweg-Bahn als Sattelfahrzeug. Da die tragenden Elemente dabei unter dem Wagenfußboden angebracht sind, kann der Wagenkasten, der darauf aufgesetzt ist, als sehr leichte Konstruktion ausgebildet werden.

Die langen Spannbetonbalken der Fahrbahn ruhen etwa alle 30 m auf Stützen. Diese Stützen sind als sogenannte Pendelstützen ausgebildet, d.h., sie können bei Längenänderung des Fahrbalkens (z.B. bei Temperaturänderung) auf ihren Fundamenten in Balkenlängsachse hin- und herpendeln. Der Balken der Biegeweiche (Länge etwa 45 m) besteht aus einer Hartaluminiumlegierung und wird durch Antriebsmotoren so gebogen, daß er die notwendigen Stränge untereinander verbinden kann (Abb. 4). Die Umstellzeit beträgt etwa 15 Sekunden.

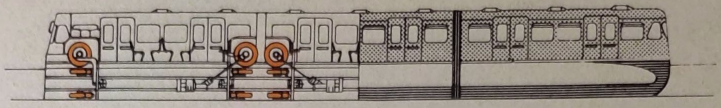


Abb. 1 Schnitt durch einen Alweg-Zug

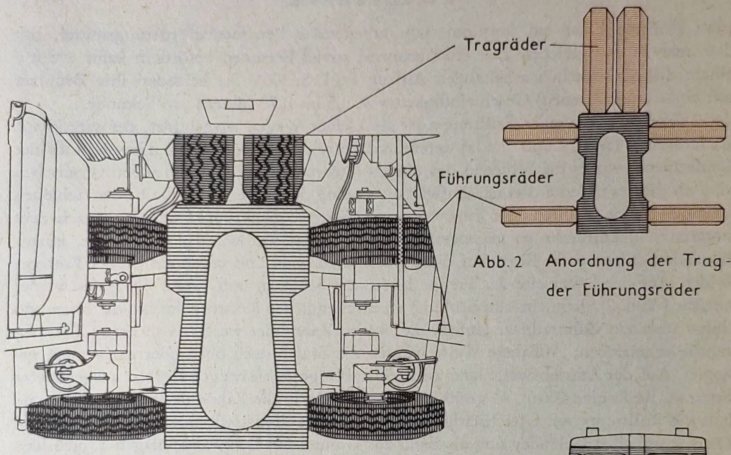


Abb. 2 Anordnung der Trag- und der Führungsräder

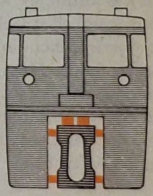


Abb. 3 Vorderansicht des Alweg-Zuges

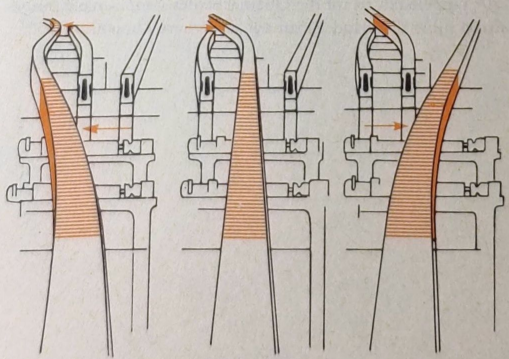


Abb. 4 Biegeweiche der Alweg-Bahn

ROLLTREPPE

Eine Rolltreppe ist ein kontinuierlich arbeitendes Personenbeförderungsmittel, mit dem man in der gleichen Zeit etwa zehnmal soviel Personen befördern kann wie mit einem diskontinuierlich arbeitenden Aufzug (vgl. S. 306). Sie befördert ihre Benutzer mit einer (zugelassenen) Geschwindigkeit von 0,5 bis 0,75 Metern pro Sekunde.

Jede einzelne Stufe einer Rolltreppe ist als kleiner Wagen ausgebildet, der vier kleine Räder besitzt (Abb. 1 und 3). Das untere und das obere Räderpaar laufen jeweils auf einer Laufschiene, wobei die Schienen des oberen Räderpaares weiter nach außen verschoben sind als die des unteren. Bei der Aufwärtsbewegung der Stufe liegen die beiden Schienen in einer Ebene, während sie kurz vor dem oberen Umkehrpunkt und kurz nach dem unteren Umkehrpunkt so gegeneinander verschoben werden, daß die untere, innenliegende Schiene tiefer liegt. Auf diese Weise wird oben und unten ein breiter Tritt gebildet. Auf der Unterseite der Treppe laufen die Schienen und darauf die Stufen wieder zurück (Abb. 2). Jede einzelne Stufe ist an zwei endlosen Ketten befestigt, die oben und unten über ein Zahnradpaar laufen; die oberen Zahnräder werden von einem Elektromotor angetrieben. Auf diese Weise werden die Stufen nach oben oder nach unten gezogen. Auf der Antriebswelle sitzt auch ein mit sägezahnförmigen Kerben ausgerüstetes Sperrad. Reißt eine Kette, so greift eine Sperrklinke in die Zähne des Sperrades ein und hält die Rolltreppe an. Gleichzeitig wird der Motor automatisch abgestellt.

Die beweglichen Geländer sind als Band aus Gummi mit Leinwandeinlagen ausgebildet. Sie werden über ein Zahnrad und eine Kette von der Antriebswelle der Treppe angetrieben. In der Mitte der Treppe befindet sich ein Spannrad, das an das rücklaufende Geländerband angedrückt wird und es infolgedessen stets so gespannt hält, daß es nicht von den oberen und unteren Umlenkrollen springen kann. Vor und hinter dem Spannrad wird das Band jeweils um 180° umgelenkt, damit die Oberfläche des Bandes nicht aufgerauht werden kann. Das Leitrad führt das Band genau auf die untere Umlenkrolle.

Abb. 1 Bewegung der Stufen

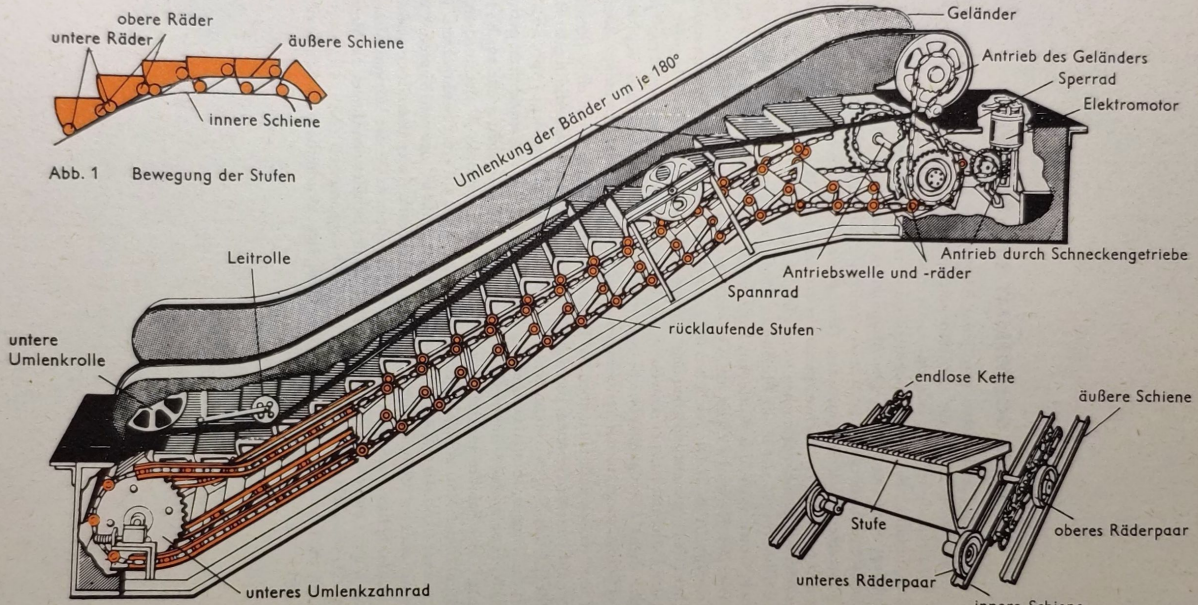


Abb. 2 Schnitt durch eine Rolltreppe

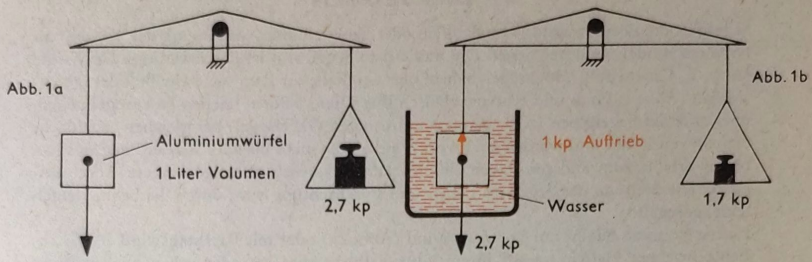
Abb. 3 Stufe

WARUM SCHWIMMT EIN SCHIFF?

Nach dem Prinzip des Archimedes wird jeder Körper, der in eine Flüssigkeit getaucht wird, um so viel leichter, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt (vgl. S. 48). So wird man feststellen, daß ein massiver Würfel aus Aluminium, sofern er gerade 1 Liter Rauminhalt hat, 2,7 kp wiegt (Abb. 1a); taucht man ihn aber nach Abb. 1b in Wasser, so wiegt er jetzt nur 1,7 kp. Der Aluminiumwürfel ist, da er 1 Liter Volumen hat und infolgedessen 1 Liter bzw. 1 kp Wasser verdrängt, um das Gewicht der von ihm verdrängten Wassermenge leichter geworden. Diese *Auftriebskraft* von 1 kp wirkt senkrecht nach oben und greift am Formschwerpunkt der verdrängten Flüssigkeitsmenge an. Kann ein Körper bei restlosem Untertauchen mehr Flüssigkeitsgewicht verdrängen, als er selbst wiegt, so wird er nur so tief in die Flüssigkeit eintauchen, bis der entstehende Auftrieb gleich seinem Gewicht ist. Ein Würfel aus Holz wird bei 1 Liter Rauminhalt etwa 0,8 kp wiegen. Dieser Würfel wird so weit ins Wasser eintauchen, bis er 0,8 Liter, d. h. 0,8 kp Wasser verdrängt (Abb. 2). Die restlichen 0,2 Liter Holz brauchen nicht einzutauchen, da schon vorher Gleichgewicht zwischen dem Eigengewicht und dem Auftrieb besteht. Man sagt in diesem Falle: der Körper schwimmt. Nach dem Gesetz des Archimedes muß jeder Körper, der mehr Flüssigkeitsgewicht bei vollkommenem Untertauchen verdrängen kann, als er selbst wiegt, in der betreffenden ruhenden Flüssigkeit schwimmen können.

Ein Schiff muß jedoch zusätzlich noch die Eigenschaft besitzen, sich aus einer geneigten Lage wieder aufrichten zu können. Ein Schiff krängt, wenn es nach Steuerbord oder Backbord überliegt (Abb. 3a), es trimmt, wenn es kopf- oder steuerlastig liegt (Abb. 3b). Soll ein Schiff nicht kentern, so muß besonderes Augenmerk auf seine Querstabilität gerichtet werden. Abb. 4a zeigt das Schiff in seiner Normallage. Sein Gewicht greift am Körperschwerpunkt S des Schiffes an, der Auftrieb am Formschwerpunkt W der verdrängten Wassermenge. In der Normallage liegen beide üblicherweise auf einer Senkrechten. Wird das Schiff geneigt (Abb. 4b und 4c), so liegt der Schwerpunkt W' der verdrängten Wassermenge an einer anderen Stelle als vorher. Die hier angreifende Auftriebskraft versucht, das Schiff um seinen Schwerpunkt S zu drehen. Den Schnittpunkt M der Wirkungslinie des Auftriebs A mit der eingezeichneten Symmetrieachse des Schiffes nennt man das Metazentrum. Liegt das Metazentrum oberhalb des Schiffsschwerpunktes S (Abb. 4b), so richtet sich das Schiff wieder auf, die Schwimmlage ist stabil; liegt es unterhalb des Schiffsschwerpunktes S (Abb. 4c), so kentert das Schiff.

Archimedisches Prinzip



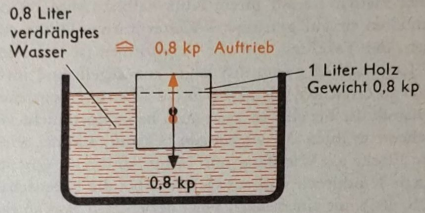


Abb. 2 Schwimmen

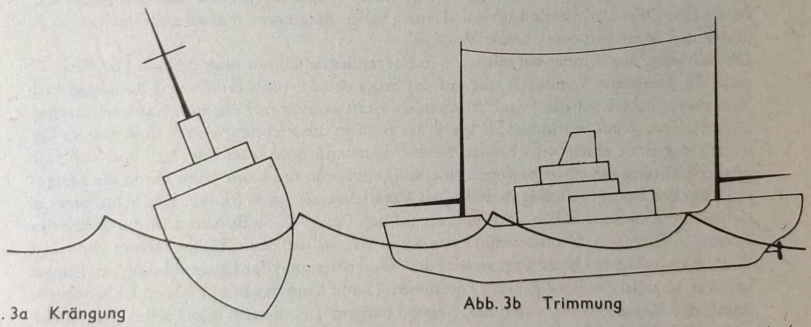


Abb. 3a Krängung

Abb. 3b Trimmung

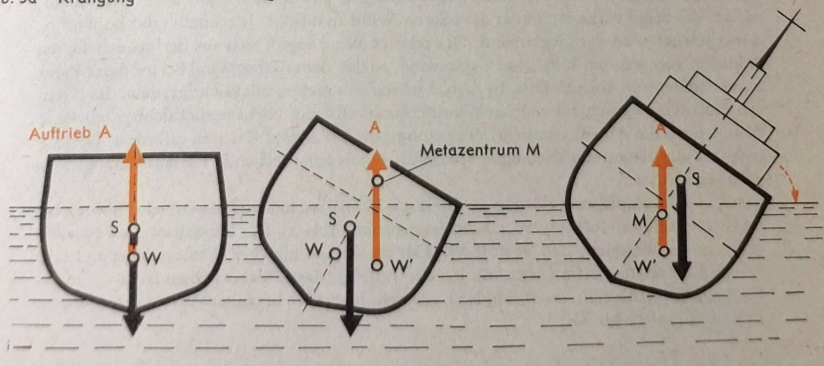


Abb. 4a

Abb. 4b

Abb. 4c

DAS SEGELN

Segeln ist die Fortbewegung von Schiffen oder Booten unter Ausnutzung des Windes mit Hilfe eines oder mehrerer Segel. Die modernste Segelform ist das dreieckige Hochsegel (Abb. 1, Großsegel). Hochsegel haben nur ein Fall, an dem sie geheißt oder gefiert werden (Abb. 1, Fock und Klüver). Durch ihre Dreiecksform reichen Hochsegel gegenüber anderen Segeltypen (z. B. dem trapezförmigen Gaffelsegel) bei gleicher Segelfläche einmal weit höher und werden auch von Winden, die nicht bis aufs Wasser hinabreichen, besser erfaßt, zum anderen haben sie eine aerodynamisch günstige längere Anschnittkante. Die Stellung des Segels zu Fahrt- und Windrichtung wird durch die Schot (Segelleine) geregelt.

Früher konnten Segler nur vor dem Wind (Abb. 2a) oder mit Backstagswind (Abb. 2b) Fahrt machen. Hatten sie auf ihrem Kurs halben (Abb. 2c) oder gar vorlichen Wind (Abb. 2d), mußten sie auf günstigeres Wetter warten. Durch ständige Verbesserung der Rumpfformen, der Takelung und der Segelformen ist heute jedes segelführende Fahrzeug in der Lage, schräg gegen den Wind anzusegeln und im Zickzackkurs (Kreuzen) selbst ein Ziel zu erreichen, das genau in der Richtung liegt, aus der der Wind weht.

Die Aerodynamik des Segelns ist zwar auch heute noch nicht vollständig erforscht, aber doch weitgehend in ihren Auswirkungen bekannt. Einmal wirkt ein Segel durch seine relativ große Fläche als Windfang und bringt so direkt Vortrieb, andererseits wölbt es sich unter dem Winddruck und entwickelt dabei die Eigenschaften einer Flugzeugtragfläche (vgl. S. 686) mit einem nach vorn gerichteten Sog an der Außenseite. Als dritte Kraft tritt ein Staustrahleffekt (vgl. S. 694) durch die zwischen Fock und Großsegel wie durch eine Düse strömende Luft auf. Darum haben Rennboote und schnelle Jachten weit hinter den Mast zurückreichende Vorsegel.

Die Wirkung des Windes auf ein am Wind liegendes Segelboot zeigt Abb. 3. Der Pfeil W stellt die konstante Windkraft, die auf das Segel drückt, nach Größe und Richtung dar. Von dieser schief auf das Segel drückenden Kraft kommt nur die zum Segel senkrechte Komponente S zur Wirkung. Sie sucht das Boot in die Richtung von S zu bewegen. Da jedoch das Boot einen sehr hohen Wasserwiderstand quer zum Kiel hat und sich fast nur in Richtung des Kiels bewegen läßt, so kommt von der Kraft S nur der in die Längsrichtung des Bootes fallende Anteil V als Vortriebskraft zur Wirkung. Das Schiff bewegt sich also mit dieser Kraft V in Richtung auf den Punkt C. Stellt man dort die Spitze des Bootes in Richtung D und wendet das Segel um, so daß seine Fläche wieder etwa den Winkel zwischen der Richtung, aus der der Wind bläst, und der Längsrichtung des Bootes halbiert, so wird das Boot gegen D getrieben. Damit kann das Boot kreuzend, aber immer durch den Wind getrieben sich der Gegend nähern, aus der der Wind weht. Der Wind, der auf das Segel wirkt, ist immer der relative Wind zum Boot. Je schneller das Boot fährt, desto stärker wird der Gegenwind. Der relative Wind ergibt sich aus der geometrischen Addition von wahrem Wind und Gegenwind, so daß der relative Wind bei größerer Fahrt immer steiler von vorn einfällt. In Abb. 3 wurde dies nicht berücksichtigt, denn das Kreuzen muß symmetrisch zur wahren Windrichtung erfolgen. Nicht berücksichtigt wurde in Abb. 3 auch die Abtrift (seitliche Versetzung), die ein öfteres Kreuzen erfordert. Die Abtrift und die Krängung (Schräglage) können durch entsprechende Kielausbildung klein gehalten werden.

Feste, in die Rumpfform einbezogene Kiele mit Bleiballast heißen Flossenkiele (Abb.1), bewegliche Kiele der Jollen werden Schwert genannt (Abb. 5). Der Bleiballast eines Flossenkieles ist so bemessen, daß er in jedem Fall zusammen mit dem Wasserwiderstand dem Winddruck überlegen ist (Abb. 4a). Bei der Jolle hat das Schwert keinen Ballast; um das Kentern (Umschlagen) zu verhindern, müssen die Segler in weiter Auslage als lebender Ballast wirken (Abb. 4b).

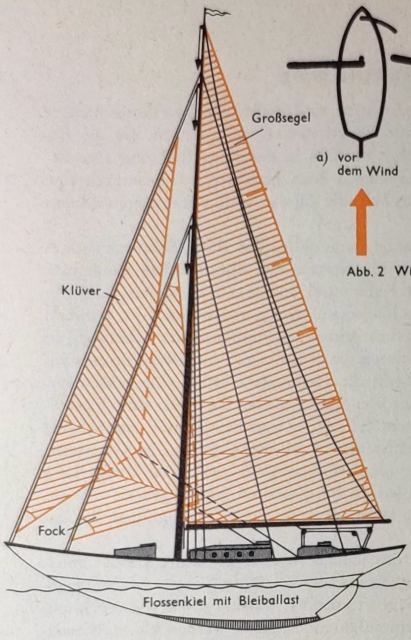


Abb. 1 Moderne Besegelung

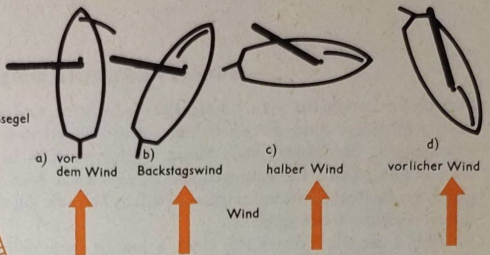


Abb. 2 Wichtige Windrichtungen

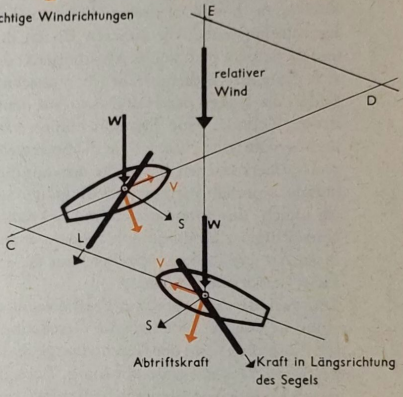


Abb. 3 Wirkung des Windes auf ein am Winde liegendes Segelschiff

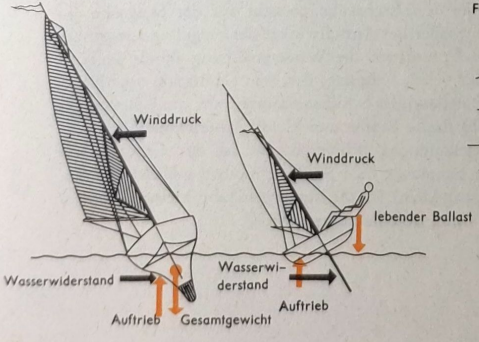


Abb. 4a Kräfte an einem Flossenkieler

Abb. 4b Kräfte an einer Jolle mit Schwert

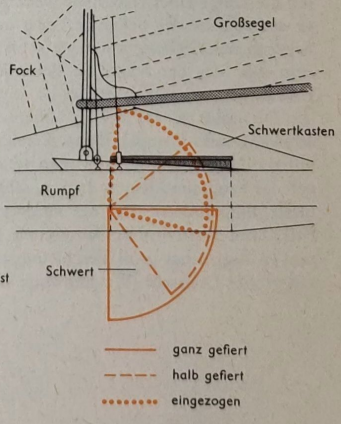


Abb. 5 Bewegliches Schwert

SCHIFFSSCHRAUBE

Die Schiffsschraube hat wie alle Propeller die Aufgabe, eine Stoffmenge (hier Wassermenge) zu beschleunigen und die dabei entstehende Reaktionskraft auszunutzen. Da die Beschleunigung der Massen nach hinten erfolgt, entsteht in derselben Richtung eine Beschleunigungskraft. Ihr entgegengesetzt, also nach vorn gerichtet, wird dadurch eine gleich große Reaktionskraft wirksam (vgl. S. 712), die auf das Schiff übertragen wird und dieses vorwärts treibt (Abb. 2).

In Abb. 1 ist die Entstehung einer Schraube dargestellt. Die drei Halbmesser eines Kreises (a, b und c) drehen sich um ihren Mittelpunkt. Sie überstreichen damit eine Kreisfläche, wobei die äußeren Enden der Halbmesser auf dem Kreisumfang entlanglaufen. Schiebt man nun den Mittelpunkt des Kreises auf einer geraden Linie fort, während sich das ganze System dreht (theoretische Fortschrittsgeschwindigkeit der Schraube), so bilden die Enden der Halbmesser auf dem durch die geradlinige Fortbewegung entstandenen Zylinder eine Schraubenlinie, während die Halbmesser selbst eine schraubenförmig verdrehte Fläche (wie die Stufen einer Wendeltreppe oder die Welle eines Fleischwolfs) überstreichen. Schneidet man aus diesem Zylinder an irgendeiner Stelle eine Scheibe heraus, so erhält man eine dreiflügelige Schiffsschraube mit drei Gängen. Die Ganghöhe ist gleich der fortschreitenden Bewegung des Mittelpunktes bei einer Umdrehung eines Flügels. Moderne Schrauben werden jedoch mit größeren Steigungen als den auf diese Art ermittelten versehen, um sie den strömungstechnischen Bedingungen bei der Fahrt besser anzupassen.

Die von der Schraube zur Fortbewegung des Schiffes nutzbar gemachte Maschinenleistung ist von der Differenz der Geschwindigkeit des anströmenden Wassers (= Schiffsgeschwindigkeit) und der Geschwindigkeit des abströmenden Wassers sowie von der durchgesetzten Wassermenge abhängig. Bei einem anfahrenden Schiff werden kleine Wassermengen stark beschleunigt, d. h. einer großen Geschwindigkeitsänderung unterworfen, beim fahrenden Schiff große Wassermengen wenig beschleunigt.

In einem festen, unnachgiebigen Medium würde das Schiff bei einer Schraubenumdrehung um die Länge einer Ganghöhe weitergeschoben. Da jedoch das Wasser nachgibt, weicht es dem Druck der Schraube etwas aus. Dadurch beträgt die Fortbewegung bei einer Schraubenumdrehung nur etwa 60 bis 70% der Ganghöhe. Die Differenz auf 100% nennt man den Slip der Schraube. Bei jeder Schiffsschraube entsteht auf der Saugseite ein Unterdruck, der um so größer ist, je größer der Anstellwinkel der Flügel und je größer die Drehzahl ist. Da bei zu hohem Unterdruck die Wasserströmung durch Luftausscheidung und Dampfbildung zerreißt — ein Vorgang, den man Kavitation oder Hohlraumbildung nennt —, gibt man schnelläufigen Schiffsschrauben, um die Unterdrücke auf der Saugseite klein zu halten, sehr flache Profile und kleine Anstellwinkel und sehr breite Flügelblätter. Bei der langsamlaufenden Schiffsschraube ist das Gegenteil der Fall (Abb. 3 und 4). Für Ozeanschiffe bevorzugt man große Schrauben mit kleiner Drehzahl (Wassermenge groß, Beschleunigung klein), für die Binnenschiffahrt kleine Schrauben mit großer Drehzahl (Wassermenge klein, Beschleunigung groß).

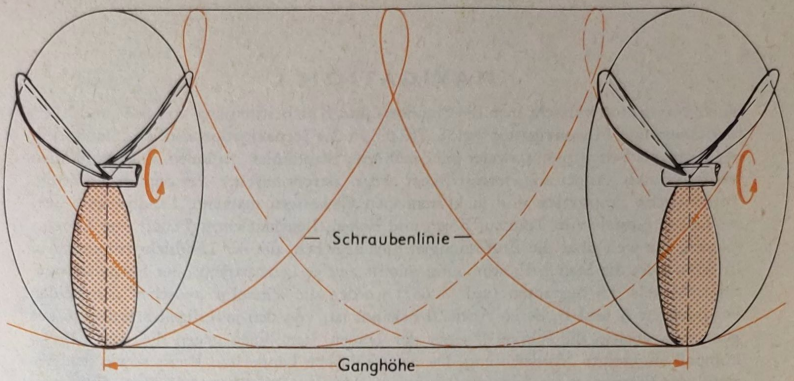


Abb. 1 Entstehung einer Schraube

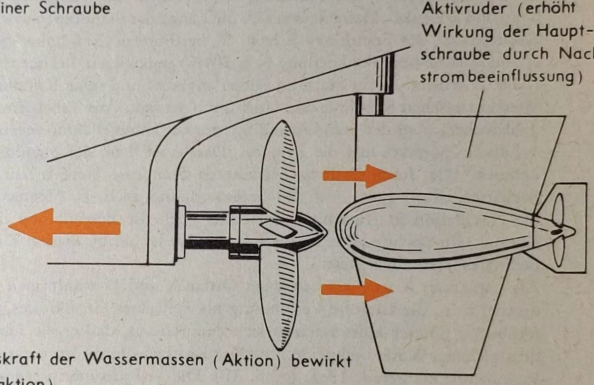
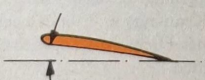
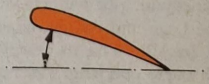


Abb. 2 Beschleunigungskraft der Wassermassen (Aktion) bewirkt Schubkraft (Reaktion)





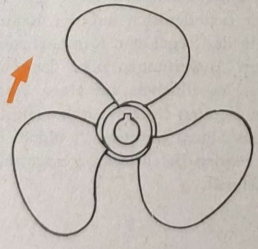


Abb. 3 Schnellaufende Schraube (große Blätter, flaches Profil)

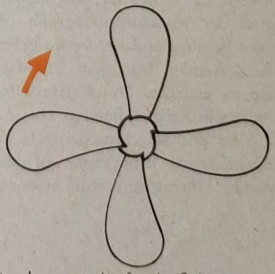


Abb. 4 Langsamlaufende Schraube (kleinere Blätter, stärkeres Profil)

NAVIGATION I

Unter Navigation versteht man die Standort- und Kursbestimmung von See- und Luftfahrzeugen (zur Flugnavigation vgl. S. 702 ff). In der Seenavigation wird der Standort in der Regel als Schnittpunkt zweier oder mehrerer Standlinien gefunden. Die Standlinien werden durch Anpeilung terrestrischer oder astronomischer Festpunkte ermittelt. Terrestrische Festpunkte sind in küstennahen Gewässern markante Landmarken, Seezeichen in Gestalt von Tonnen, Bojen und Baken, Leuchtzeichen (Feuer) von Leuchttürmen, die weit über die Entfernungen hinausreichen, die der Landsicht entsprechen. In Abb. 1 ist die Standortbestimmung mittels zweier Landmarken oder Seezeichen gezeigt. Mittels des Sextanten (vgl. S. 682) werden die Winkel α zwischen den beiden Festpunkten A und B, deren Abstand bekannt ist, von den jeweiligen Standorten aus gemessen, ebenso die Winkel β einer der beiden Standlinien gegen die vom Schiffskompaß angezeigte Nordrichtung. Da geographische Länge und Breite sowie der Abstand der Festpunkte bekannt sind, kennt man in den Dreiecken ABS bzw. ABS′ eine Seite und 2 Winkel. Damit lassen sich die Länge der Standlinien sowie die geographischen Koordinaten des Standortes S bzw. S′ bestimmen. Auf hoher See ist das Schiff auf astronomische oder Funkpeilung (s. S. 704 ff.) angewiesen. Bei der astronomischen Peilung (Abb. 2) wird z. B. ein Stern im Süden anvisiert und seine Kulminationshöhe, d. h. der Winkel zwischen Sichtlinie und Horizont bestimmt. Aus Tabelfenwerken (astronomische Jahrbücher) wird der Standort des Sternes am Himmel entnommen. Das genau gehende Schiffschronometer legt die Zeit fest. Daraus ist dann der Standort des Schiffes zu entnehmen. Die durch Peilung bestimmten Standorte werden zur Kursbestimmung in Seekarten eingetragen. Auf den Seekarten sind auch die Meerestiefen angegeben. Für die Navigation in Küstennähe ist daher auch die Bestimmung der Meerestiefe durch Lotung sehr wichtig. Das Echolot (s. S. 682) ist ein zu diesem Zweck gegenwärtig viel benutztes Tiefenmeßgerät.

Als geplanten Kurs zwischen zwei Orten A und B wählt man entweder die Orthodrome, d. h. die kürzeste Verbindung als Teil eines Großkreises, oder die Loxodrome (Abb. 3a). Dieser Kurs zeichnet sich dadurch aus, daß er die Längenkreise stets unter dem gleichen Winkel schneidet. In einer Karte in Mercatorprojektion erscheint daher die Loxodrome als gerade Linie (Abb. 3b). Die Loxodrome ist jedoch stets länger als die Orthodrome.

Die Funkpeilung gibt ähnlich wie die Leuchtturmpeilung Bezugspunkte, deren geographische Lage und Art des abgegebenen Feuers (Kennung) in Tabellenwerken angegeben ist. In Abb. 4 ist als Beispiel die Kennung eines Drehfeuers angegeben, bei dem periodisch kurze und lange Zeichen ausgestrahlt werden.

Für die Einhaltung des Kurses, die Regulierung der Fahrtgeschwindigkeit und das Manövrieren in Schleusen und Häfen oder Gefahrensituationen dient als wichtiges Hilfsmittel der Maschinentelegraph (Abb. 5). Er befindet sich auf der Kommandobrücke des Schiffes und wird vom Schiffsführer (in der Regel dem Kapitän) verwendet, um dem Leitenden Ingenieur im Maschinenraum Anweisungen über den Gang der Maschine zu erteilen. Durch Einstellung des Geberstellhebels auf einen bestimmten Befehl wird ein Seilzug betätigt (bei moderneren Geräten ein elektrisches Signal übertragen). Von der Maschinenzentrale aus wird das Signal „quittiert", indem dort ein Quittungsgeber am Empfänger auf den entsprechenden Befehlssektor eingestellt wird. Bei fehlender Übereinstimmung ertönt ein Alarmsignal.

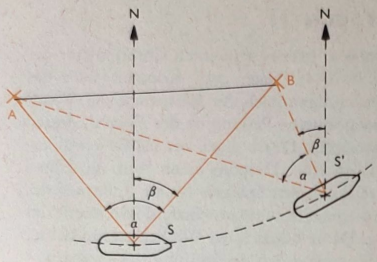


Abb. 1 Standortbestimmung mit Hilfe von Seezeichen

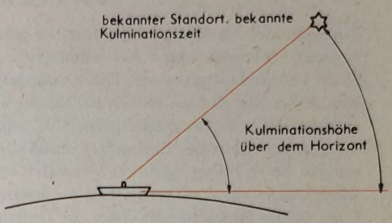


Abb. 2 Standortbestimmung mit Hilfe eines Gestirns

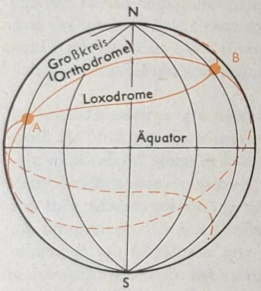


Abb. 3a

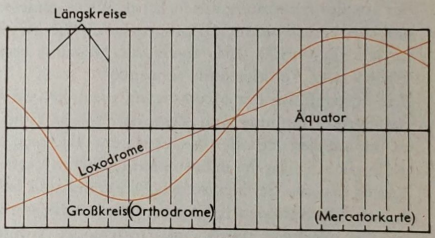


Abb. 3b

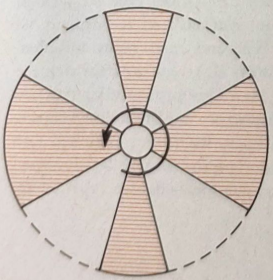


Abb. 4 Kennung eines Drehfeuers

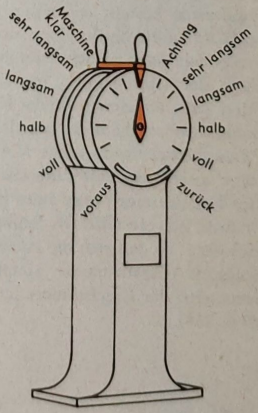


Abb. 5 Maschinentelegraph

NAVIGATION II

Ein wichtiges Navigationshilfsmittel ist neben dem bereits genannten Chronometer der Kompaß (Magnet- oder Kreiselkompaß; s. S. 684). Nach dem Kompaß wird das Schiff unmittelbar gesteuert. Die Kursangaben erfolgen nach der Einteilung der Windrose. Eines der ältesten Hilfsmittel für die astronomische Peilung ist der *Sextant*, dessen grundsätzliche Wirkungsweise aus Abb. 6 hervorgeht. Durch einen zur Hälfte versilberten Spiegel visiert der Beobachter durch das Loch eines Diopters einen Stern an. Einen zweiten Stern bringt er durch Verstellen eines drehbaren Spiegels (unter Reflexion des Lichtstrahles am versilberten Teil des ersten Spiegels) in sein Gesichtsfeld und damit das Licht beider Sterne für das Auge zur Deckung. Dann läßt sich der Winkelabstand beider Sterne auf der 60°-Teilung (daher der Name Sextant) durch die Stellung des Dreharmes des beweglichen Spiegels ablesen. Die Fahrtgeschwindigkeit, die ebenfalls für die Kursfestlegung wichtig ist, wird mit dem *Log* gemessen. Heute benutzt man meist das sog. Patentlog (Abb. 7), bei dem eine im Wasser nachgeschleppte kleine Schraube ihre Umdrehungen über eine biegsame Achse auf ein Zifferblatt überträgt, auf dem die Geschwindigkeit abgelesen werden kann. Das modernste Log ist der *Staudruckmesser* (Abb. 8). Seine Wirkungsweise beruht auf dem Bernoullischen Gesetz (vgl. S. 10). Er besteht aus einem Rohr, das in der Stirnseite und an den Seiten Öffnungen besitzt. Der in der aus der Abbildung ersichtlichen Weise gemessene Druckunterschied ist dem Quadrat der Fahrtgeschwindigkeit proportional. Die gleiche Apparatur wird auch bei der Flugnavigation (vgl. S. 704) sowie zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten in der Hydro- und Aerodynamik verwendet.

Zur Feststellung der Meerestiefen, die aufgrund von Seekarten ein weiteres Hilfsmittel zur Ortsbestimmung sind, dient das *Echolot*. Eine Ausführungsform zeigt Abb. 10. Dort ist die auf den Erfinder des Echolotes, Dr. h. c. Behm, zurückgehende Methode dargestellt, die sich durch ein besonders einfaches Verfahren der Kurzzeitmessung auszeichnet. Am Boden des Schiffes sind Schallsender und Schallempfänger so angebracht, daß nur der am Meeresboden reflektierte Schall den Empfänger treffen kann. Die Betätigung des Senders geschieht durch einen rotierenden Kontakt, der von der Welle der Kurzzeit-Meßapparatur betätigt wird und einen Kondensator über den elektromagnetischen Schallsender entlädt, so daß ein kurzer Schallimpuls ausgestrahlt wird. Die Kurzzeit-Meßapparatur besteht aus einer vor einer Zeitskala rotierenden Neon-Glimmlampe. Durchläuft sie die Nullstellung, so wird der Schallimpuls ausgelöst. Seine Laufzeit zum Meeresboden und zurück zum Schallempfänger (Mikrophon) wird durch ein Aufleuchten der Glimmlampe, die sich inzwischen weitergedreht hat, auf der Zeitskala markiert bzw. abgelesen. Da der reflektierte Schallimpuls im Empfänger eine zu geringe Wirkung auslöst, die nicht ausreicht, die Glimmlampe zum Aufleuchten zu bringen, ist die Zwischenschaltung eines Verstärkers erforderlich. Während man beim üblichen Echolot vorwiegend mit Ultraschall arbeitet (Frequenz 20000 Hz), bedient man sich für Tiefsee-Echolotungen gern eines Hörschallsenders (3600 Hz). Sein prinzipieller Aufbau ist in Abb. 9 dargestellt. Die Spule wird von einem Wechselstrom der Frequenz 3600 Hz durchflossen, so daß sich die lamellierten Eisenkerne in diesem Rhythmus anziehen und – infolge der Elastizität der Membran – wieder auseinanderfedern. Andere Sendertypen bedienen sich der Erscheinung der Magnetostriktion bzw. des Piezoeffektes (vgl. Ultraschall S. 238).

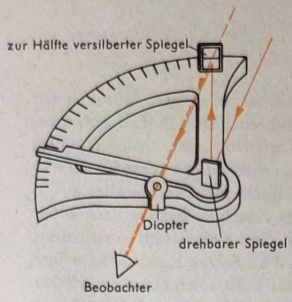


Abb. 6 Sextant

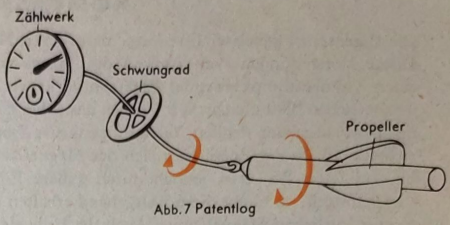


Abb. 7 Patentlog

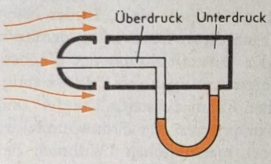


Abb. 8 Staudruckmesser (Prandtl-Rohr)

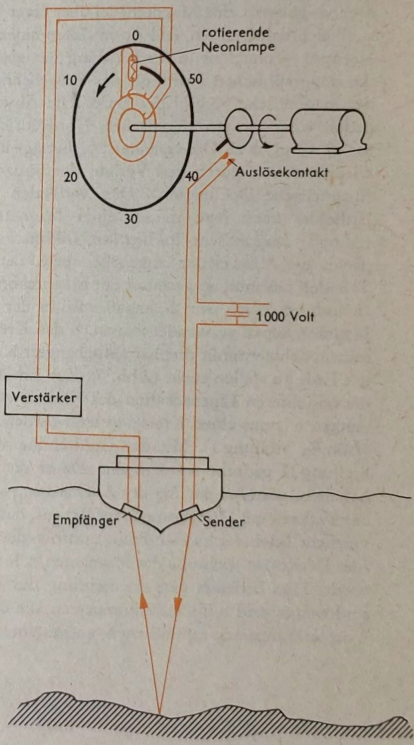


Abb. 10 Atlas-Echolot mit Kurzzeitmesser (nach Behm)

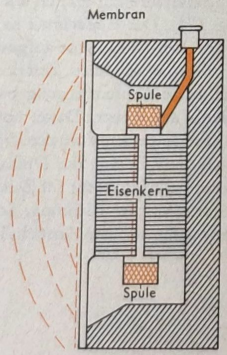


Abb. 9 Elektromagnetischer Schallsender

KOMPASS

Die Eigenschaft gewisser Eisenerze, natürlichen Magnetismus zu zeigen, läßt sich auf unsere Vorstellungen vom Aufbau des Atoms zurückführen (Abb. 1). Ein einzelnes, einen Atomkern umkreisendes Elektron wirkt wie ein Kreisstrom, der wiederum einem magnetischen Blatt gleicht. Wir können uns daher Eisen aus einer Fülle solcher Elementarmagnete aufgebaut denken, die gruppenweise (sog. Weißsche Bezirke) parallel ausgerichtet sind. In der Regel hebt sich der Magnetismus der einzelnen Bezirke nach außen hin auf (Abb. 2 a). Hat jedoch durch äußere Einflüsse eine einheitliche Ausrichtung stattgefunden, so bleibt diese weitgehend erhalten (Abb. 2 b). Solche Eisenstücke zeigen einen natürlichen Magnetismus. Auch die Erde als Ganzes weist solch einen natürlichen Magnetismus auf (Abb. 3). Die magnetische Achse ist jedoch gegen die Drehachse geneigt. Die magnetischen Pole fallen mit den geographischen Polen nicht zusammen. Das Magnetfeld der Erde wird in der Schiffahrt zur Richtungsorientierung auf den Weltmeeren benutzt. Man bedient sich dabei des Magnetkompasses. Er besteht aus einem unmagnetischen Gehäuse (z.B. Messing oder Preßstoff), in dem auf einer Spitze leicht drehbar gelagert eine Magnetnadel über einer Windrose spielt (Abb. 4). Die Magnetnadel stellt sich dabei so ein, daß sie mit dem einen Pol — wir nennen ihn den magnetischen Nordpol — ungefähr in die Richtung des geographischen Nordpols weist. In der Nähe des geographischen Nordpols der Erde befindet sich nach dieser Festsetzung demnach der magnetische Südpol der Erde. Die Abweichung der Einstellrichtung der Magnetnadel von der geographischen Nordsüdrichtung bezeichnet man als Mißweisung. Sie ist von Ort zu Ort veränderlich, beträgt im deutschen Raum zwischen 2 und 4° und wird bestimmt durch den Verlauf der horizontalen Komponente des Erdmagnetfeldes (magnetische Deklination). Den vertikalen Verlauf der magnetischen Feldlinien des Erdfeldes kann man mittels einer Magnetnadel mit horizontaler Achse bestimmen (Abb. 5; magnetische Inklination, Inklinationsnadel). Ist auf der Windrose des Kompasses die Mißweisung angegeben bzw. der Wert der magnetischen Deklination aus Tabellen bekannt, so gestattet der Magnetkompaß die Festlegung der genauen Himmelsrichtungen. Nach dem Kompaß wird in der Schiffahrt der Kurs festgelegt. Außer dem Magnetkompaß verwendet man auch den Kreiselkompaß. Er beruht darauf, daß ein über seinem Schwerpunkt drehbar aufgehängter Kreisel seine Drehachse parallel zur Drehachse der Erde zu stellen sucht (Abb. 6). Zur Erklärung dieser Kreiselwirkung greifen wir auf die besonderen Eigenschaften des Kreisels zurück (vgl. S. 576). Der Einfachheit halber denken wir uns einen Kreisel in west-östlicher Richtung auf dem Erdäquator aufgestellt (Abb. 6, Stellung I). Mit der Erddrehung wird er nach einer bestimmten Zeit in die Stellung II gedreht worden sein. Da er die Tendenz hat, seine Achsenrichtung beizubehalten, wird bei der Art der Aufhängung sein Schwerpunkt angehoben. Daher übt die Schwerkraft ein Drehmoment auf ihn aus, das den Kreisel samt Lagerung zurückzudrehen versucht (kleine schwarze Pfeile). Infolgedessen ändert sich die Richtung der Drehachse (des Dralles) in Richtung des Momentes, d.h. im gezeichneten Falle senkrecht zur Zeichenebene. Dies bedeutet eine Ausrichtung des Kreisels in nord-südlicher Richtung. Schiffe sind weitgehend mit Kreiselkompassen, die einen verhältnismäßig leichten Anschluß von Tochterkompassen ermöglichen, ausgestattet.

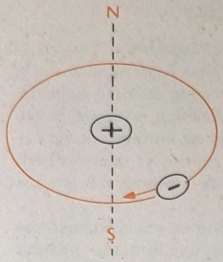
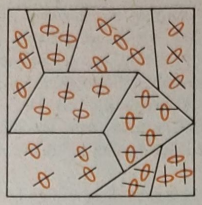


Abb. 1 Das Atom als magnetisches Blatt



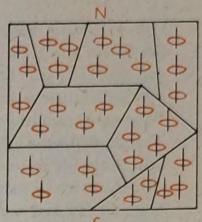


Abb. 2 Weißsche Elementarbezirke (Entstehung eines Magnetes)

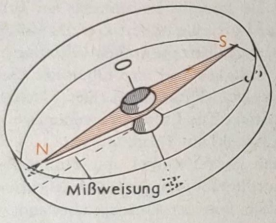


Abb. 4 Kompaß

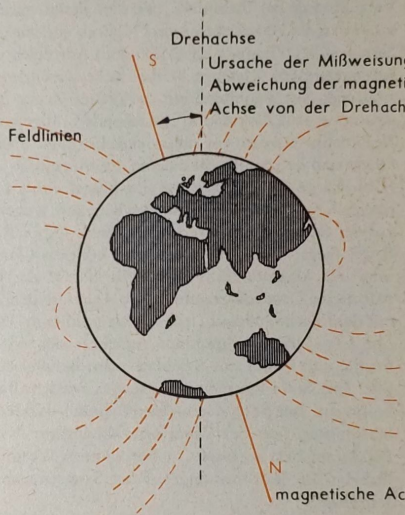


Abb. 3 Magnetfeld der Erde

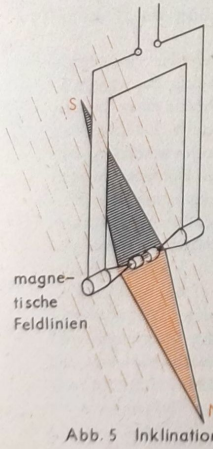


Abb. 5 Inklinationsnadel

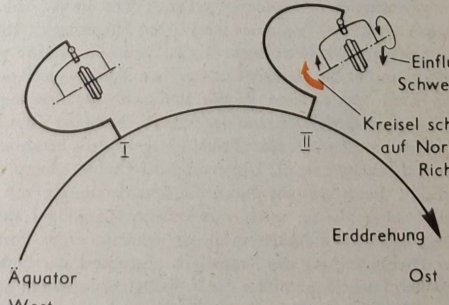


Abb. 6 Wirkungsweise des Kreiselkompasses

WARUM EIN FLUGZEUG FLIEGT

Ein Flugzeug benötigt um fliegen zu können eine der Erdanziehung entgegengerichtete Kraft, da es „schwerer" als die umgebende Luft ist. Diese Kraft kommt durch den Auftrieb der Tragflächen zustande, der senkrecht zur Bewegungsrichtung steht. In der Luft entsteht wie in einer zähen Flüssigkeit infolge der Reibung noch ein in die Bewegungsrichtung fallender Widerstand (Abb. 1). Durch geeignete Formgestaltung der Tragflügelprofile (Abb. 2) erreicht man, daß der Widerstand gegenüber dem Auftrieb sehr klein bleibt und damit die aus beiden gebildete resultierende Luftkraft fast nur aus dem Auftrieb besteht.

Um die zur Entstehung des Auftriebs notwendige Luftzirkulation zu erzeugen, muß das Flügelprofil entsprechend gestaltet werden. Bei Beginn der Bewegung löst sich — wegen Verzögerung der Strömung und des damit verbundenen Druckanstiegs — die Grenzschicht an der Hinterkante vom Flügel ab und wickelt sich zum Anfahrwirbel auf. Nach dem Satz von W. Thomson muß sich zum Ausgleich um den Tragflügel eine Zirkulation von entgegengesetzt gleicher Wirbelstärke ausbilden. Nach Entfernung des Anfahrwirbels stellt sich am Tragflügel ein stationärer Zustand ein, der durch den aus einer Parallelströmung und Zirkulation entstehenden Flügelauftrieb gekennzeichnet ist.

Verwendet werden vor allem sichelförmige Profile mit verschiedener Krümmung der Ober- und Unterseite. Sie sind an der Flügelnase abgerundet und besitzen eine zugespitzte Hinterkante. Die Anstellung des Flügelprofils und die stärkere Krümmung der Profiloberseite bewirken aufgrund des längeren Weges der Luft eine höhere Geschwindigkeit auf der Oberseite als auf der Unterseite (Abb. 3). Aus der Bernoullischen Gleichung (s. S. 10) folgt, daß sich wegen der höheren Geschwindigkeit auf der Oberseite (Saugseite) ein kleinerer Druck einstellt als auf der Unterseite (Druckseite). Der Flächeninhalt dieses Druckdiagramms (Abb. 4) liefert den Auftrieb. Die Luftkräfte verändern sich mit dem Anstellwinkel (Abb. 5), sie greifen im Druckpunkt am Tragflügel an.

Die Lage des Druckpunktes verändert sich mit dem Anstellwinkel, nur symmetrische Profile und solche mit S-Schlag (erforderlich bei Nurflügelflugzeugen) sind druckpunktfest. Die Stabilität eines Flugzeuges wird maßgeblich von der Druckpunktwanderung bestimmt. Bei steigendem Anstellwinkel wandert der Druckpunkt nach vorn. Wird ein bestimmter, von der Profilform abhängiger Wert erreicht, bei dem der Auftrieb sein Maximum hat, so bricht er bei weiterer Vergrößerung des Anstellwinkels zusammen. Dabei reißt die Strömung auf der Saugseite ab (vgl. Abb. 6) und bildet ein „Totwassergebiet".

Die Profile werden so gewählt, daß sie bei Entwurfsgeschwindigkeit der vorbeiströmenden Luft einen möglichst kleinen Widerstand bieten und gleichzeitig der sog. Auftriebsbeiwert den Anforderungen entspricht. In der Abb. 7 sind die Profile eines Lastenseglers (Abb. 7a) und eines schnelleren Flugzeuges (Abb. 7b) dargestellt. Der Auftrieb des breiten, stark gewölbten Profils ist um die Hälfte größer als der des schmalen, sein Widerstand ist bei gleicher Luftgeschwindigkeit jedoch doppelt so groß. Die bekanntesten der heute verwendeten Profile stammen aus Messungen der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen und der NACA (National Advisory Committee for Aeronautics).

Auch für die *Luftschraube* (Propeller) gelten die beschriebenen Grundsätze. Die Aufgabe der Luftschraube ist die Umsetzung des Drehmomentes eines Motors in Vortrieb (axialer Schub); dieser entsteht durch die Beschleunigung von Luftmassen (Abb. 8). Der Propeller kann als ein stark verwundener Tragflügel angesehen werden. Die wirksame Anströmgeschwindigkeit resultiert jedoch aus der Fortbewegung des Flugzeuges und der Drehbewegung des Propellers. Aufgrund der zunehmenden Geschwindigkeit der erfaßten Luftmassen hinter der Propellerebene erfolgt dort eine Strahleinschnürung nach dem Kontinuitätsgesetz (s. S. 10). Bei verlustloser Strömung, d.h. bei Vernachlässigung aller Reibungswiderstände und bei unendlich langem Propellerblatt, gilt Abb. 8 für die auftretenden Kräfte und Geschwindigkeiten am Flügelblattelement.

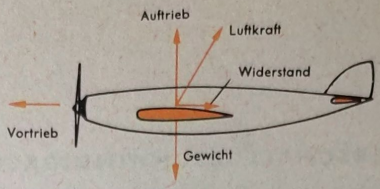


Abb. 1 Am Tragflügel angreifende Kräfte

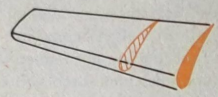


Abb. 2 Tragflügelquerschnitt

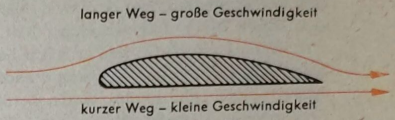


Abb. 3 Luftströmung um ein Tragflügelprofil

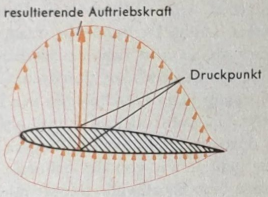


Abb. 4 Kräfteverteilung an einem umströmten Tragflügel

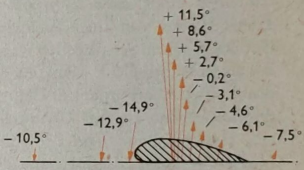


Abb. 5 Veränderung der Luftkräfte und der Lage des Druckpunktes bei verändertem Anstellwinkel

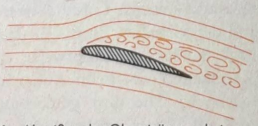


Abb. 6 Abreißen der Oberströmung bei zu großem Anstellwinkel (Wirbel!)

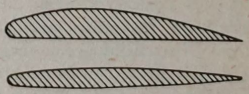


Abb. 7 Verschiedene Profile:
a Lastensegler,
b schnelleres Flugzeug

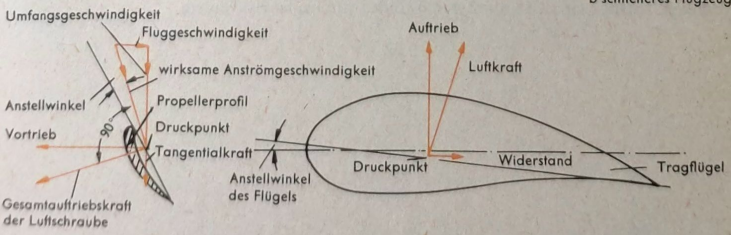


Abb. 8 Zusammenwirken der an Propeller und Tragflügel angreifenden Kräfte

ÜBERSCHALLGESCHWINDIGKEIT

Die Schallgeschwindigkeit ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer elastischen Störung in einer Substanz und hängt von deren elastischen Eigenschaften sowie von deren Dichte ab. In Luft von 15° C beträgt sie 340 m/s oder 1224 km/h. Sie ist eine Funktion der Temperatur und der Höhe (Dichte der Luft). Solange die Geschwindigkeit eines sich durch die Luft bewegenden Körpers unterhalb der Schallgeschwindigkeit liegt, weicht die Luft, einem sehr weichen Körper entsprechend, nach allen Seiten aus. Wird jedoch die Schallgeschwindigkeit erreicht, wirkt sie dem Eindringling gegenüber wie ein harter Körper, der durchschnitten werden muß. Beim Durchschneiden lösen sich an den Schnittstellen (Unstetigkeitsstellen) elastische Wellen ab, die infolge ihrer geringeren Geschwindigkeiten hinter dem mit Überschallgeschwindigkeit fliegenden Körper zurückbleiben. Der Übergang von der ungestörten Überschallströmung zur Unterschallströmung erfolgt durch einen Verdichtungsstoß.

Um diese Vorgänge plausibel zu machen, vergleichen wir sie mit dem Durchschneiden einer festen Substanz mittels eines Messers (Abb. 1): Schneidet man mit einem Messer von einer Packpapierrolle einen Bogen ab, so hört man ein zischendes Geräusch. Diese Schallwellen werden von der Schneide des Messers beim Durchschneiden des Papiers ausgelöst. Ganz entsprechend ist der Vorgang beim Durchfliegen der Luft durch einen Flugkörper mit Überschallgeschwindigkeit. Die Luft verhält sich, wie gesagt, gegenüber dem sie mit Überschallgeschwindigkeit durchschneidenden Flugkörper wie eine feste Substanz. Von der Spitze des Flugkörpers geht — wie von der Schneide des Messers — beim Durchtrennen der „festen" Luftmasse eine Schallwelle (Kopfwelle genannt) aus, ebenso lösen sich an der Kante der Bodenfläche Schallwellen ab (Schwanzwelle), denn hinter dem Geschoß entsteht ein Vakuum, in welches von den Seiten Luft turbulent hineinstürzt und eine Wirbelstraße bildet (Unstetigkeit). Um das Durchschneiden der Luft zu erleichtern, werden Geschosse, Raketen und Überschallflugzeuge vorn mit einer Spitze versehen (Abb. 3). Beim Überschallflugzeug sind die Tragflügel stark verkleinert, weil sie beim Flug mit Überschallgeschwindigkeit den Luftwiderstand zu stark erhöhen würden. Trotz dieser Verkleinerung und des schmalen Profils ist dank der hohen Geschwindigkeit der Auftrieb ausreichend (vgl. S. 686). Die Kopfwelle, die vom Überschallflugzeug ausgeht, bildet einen Kegel (Lärmkegel), der beim Auftreffen auf dem Erdboden einen breiten Lärmteppich bildet (Abb. 4). Die dort gemessenen Schalldrücke weisen Werte zwischen 25 und 150 kp/m² auf. Diese reichen aus, um Fensterscheiben gelegentlich zum Bersten zu bringen. Bei Flughöhen von über 10000 m bleiben die Werte unter dieser Grenze. Die gleichen Erscheinungen beobachtet man auch an Raketen, solange sie sich im unteren Teil der Atmosphäre befinden.

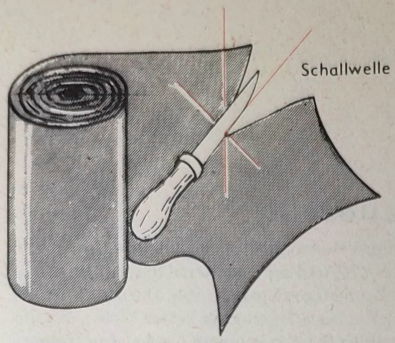


Abb. 1

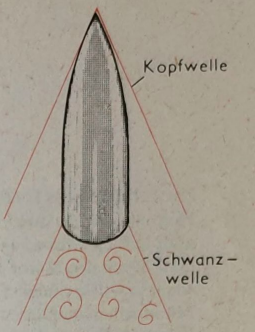


Abb. 2

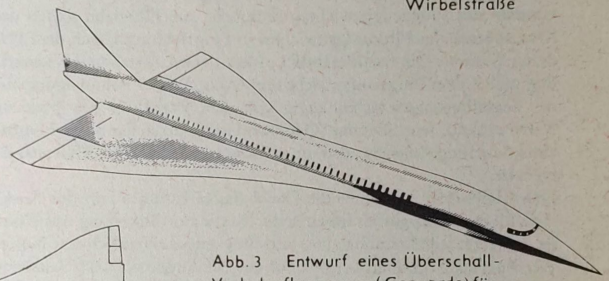
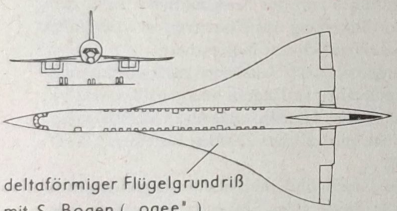


Abb. 3 Entwurf eines Überschall-Verkehrsflugzeuges (Concorde) für 2,2fache Schallgeschwindigkeit



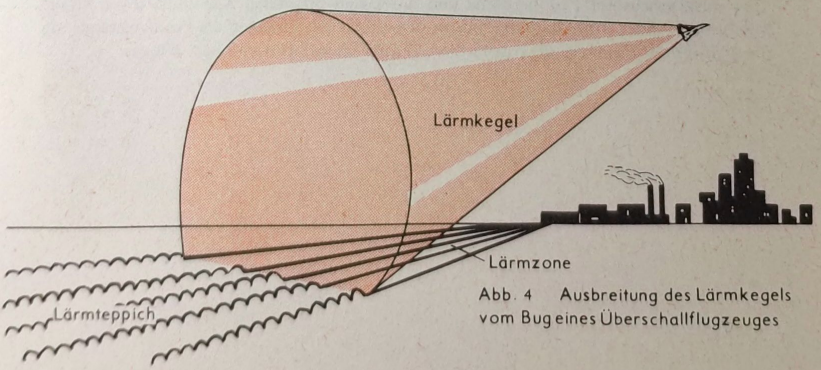


Abb. 4 Ausbreitung des Lärmkegels vom Bug eines Überschallflugzeuges

SEGELFLUGZEUG

Zur Erfüllung des Kräftegleichgewichts für den Horizontalflug eines Flugzeuges muß das Flugzeuggewicht durch den Auftrieb (vgl. S. 674) und der Widerstand durch eine Schubkraft in Flugrichtung ausgeglichen werden. Beim Motorflugzeug (Abb. 1) wird die Schubkraft durch den Motor erzeugt (vgl. S. 686). Ein Segelflugzeug hat keinen Motor, es kann somit in völlig ruhiger Luft keinen Horizontalflug (Flug in konstanter Höhe) durchführen. Mit einem Segelflugzeug ist dann ein stationärer Flug nur auf einer zur Erde geneigten Bahn möglich. In diesem Fall ist das Kräftegleichgewicht dadurch erfüllt, daß die Komponente des Flugzeuggewichtes senkrecht zur Flugbahn gleich dem Auftrieb und die Komponente des Flugzeuggewichtes in Flugrichtung gleich dem Widerstand ist. Mit anderen Worten: Die resultierende Luftkraft aus Auftrieb und Widerstand muß beim Segelflug gleich dem Flugzeuggewicht sein (Abb. 2). Der Bahnneigungsflug (Abb. 3a und 3b) des Segelflugzeuges ist abhängig von dem Verhältnis des Widerstandes zum Auftrieb (Gleitwinkel). Je größer der Widerstand ist, desto steiler ist die Flugbahn. Die Flugleistung eines Segelflugzeuges ist also um so besser, je kleiner der Widerstand bei gegebenem Auftrieb ist.

Der Gleitwinkel bestimmt die Dauer des Gleitfluges von der Ausklinkhöhe (nach dem Anschleppen) bis zur Erdoberfläche. Da die Fortbewegung mit Höhenverlust verbunden ist, bedeutet jede Landung eines Segelflugzeuges eigentlich eine Notlandung.

Der Reiz des Segelfluges ergibt sich aus der Aufgabe, durch Aufsuchen nach oben gerichteter Luftströmungen die an sich begrenzte Flugdauer zu verlängern und in größere Höhen aufzusteigen. Dazu gehören gründliche Kenntnisse der Meteorologie und viel Erfahrung; z. B. sind ohne Flügelschlag kreisende Vögel ein untrügliches Zeichen für einen „Bart", wie eine Aufwindzone in der Fachsprache heißt.

Ein Segelflugzeug kann dann steigen, wenn die Geschwindigkeit der aufsteigenden Luftmassen die Sinkgeschwindigkeit übertrifft. Die Steig- oder Sinkgeschwindigkeit eines Flugzeuges wird am Variometer (vgl. S. 702) abgelesen.

Aufwinde entstehen an horizontal angeströmten Berghängen (Hangaufwind; Abb. 4), über stark erwärmter Erdoberfläche und unter sich bildenden Kumuluswolken (thermische Aufwinde; Abb. 5). Ferner bilden sich bei Gewitterfronten die Frontaufwinde, da die Kaltluft der Front die über der Erde lagernde Warmluft nach oben drängt.

Abb. 1

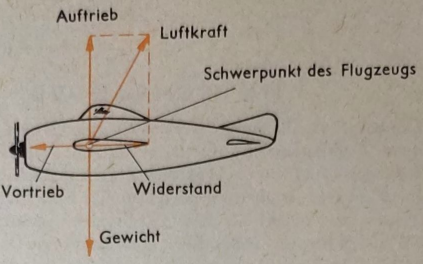


Abb. 2

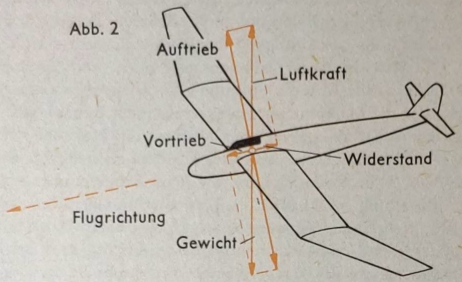
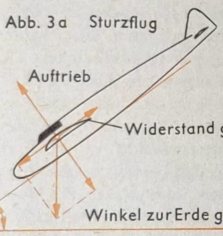


Abb. 3a Sturzflug



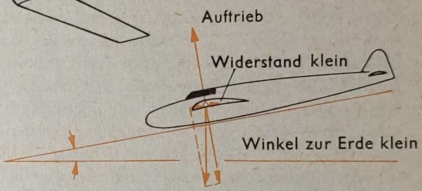
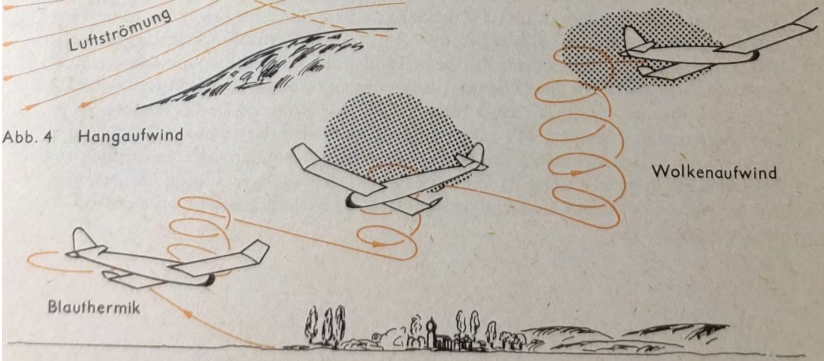


Abb. 3b Gleitflug

Abb. 4 Hangaufwind

Abb. 5 Thermische Aufwinde



HUBSCHRAUBER

Beim Hubschrauber tritt an die Stelle des festen Tragflügels ein Drehflügel (Rotor), dessen Blätter mit einem Tragflügelprofil ausgestattet sind. Die Schwebefähigkeit oder der Auftrieb eines Tragflügels hängt von zwei Faktoren ab: dem Anstellwinkel des Flügels (Abb. 1) und der Geschwindigkeit der anströmenden Luft. Da beim Flugzeug Flügel und Rumpf eine Einheit bilden, muß es eine Geschwindigkeit nach vorwärts haben, um den notwendigen Auftrieb zu erhalten (s. S. 686). Beim Hubschrauber wird die Luftgeschwindigkeit durch die Rotation der Drehflügel erzeugt; wenn der Anstellwinkel einen bestimmten Wert erreicht hat, beginnt der Auftrieb die Schwerkraft zu überwinden. Bei großer Steiggeschwindigkeit muß sowohl die Drehgeschwindigkeit des Rotors als auch der Anstellwinkel der Blätter groß sein. Die Maschine steigt senkrecht nach oben, weil der Auftrieb genau in Richtung der Rotorachse wirkt (Abb. 2). Soll nun eine Vorwärtsbewegung zustande kommen, so kippt der Pilot die Maschine um einen bestimmten Winkel nach vorwärts (Abb. 3), indem er dem Rotorblatt, das gerade über das Heck der Maschine streicht, einen größeren Anstellwinkel gibt, wodurch dessen Auftrieb größer wird als der der anderen Blätter. Die Kraft (in Abb. 3 die Resultierende), die beim Senkrechtflug voll als Auftrieb wirkte, wird in dieser Stellung der Maschine aufgespalten in einen Teil für den Auftrieb und einen Teil für die Zugkraft zur Vorwärtsbewegung. Der Steuerkopf mit der Taumelscheibe (Abb. 4) sorgt dafür, daß jeweils das richtige Blatt im richtigen Augenblick steiler angestellt wird. Die untere Scheibe der Taumelscheibe wird durch die Steuergeräte des Piloten über die Steuerstangen in einem bestimmten Winkel zur Rotorachse starr festgehalten. Die Stoßstangen ziehen, während sie um die Rotorwelle kreisen, die um ihre Längsachsen drehbaren Blätter hoch oder nieder und verändern so den Anstellwinkel.

Die in Abb. 4 sichtbaren Schlaggelenke erfüllen eine andere Aufgabe: In Abb. 5 gibt *R* die Dreh- und *T* die Bewegungsrichtung an. Auf der Rotorfläche muß man zwei Abschnitte (Linie xx) unterscheiden. Auf der rechten Seite addieren sich die Auftriebskräfte aus der Luftströmung, die durch Dreh- und Vorwärtsbewegung entstanden ist, während auf der linken Seite der Auftrieb aus der Drehbewegung um den Betrag aus der Vorwärtsbewegung kleiner ist. Der Auftrieb *A* ist auf der rechten Seite stärker, der Hubschrauber müßte bei zunehmender Geschwindigkeit nach links abkippen und schließlich umschlagen. Ein Flügelblattlager mit einem Gelenk senkrecht zur Drehachse (Abb. 6) ermöglicht den Flügelblättern Schlagbewegungen, die die unerwünschten Kippmomente ausschalten. Jedes Flügelblatt ist so zu jeder Zeit im Gleichgewichtszustand: Die Gelenke können keine Kippmomente übertragen, die Flügelblätteranschlüsse sind keine Verbiegungen, sondern nur mehr der zentrifugalen Beanspruchung unterworfen; jedes Flügelblatt geht bei jedem Umlauf auf der Seite in die Höhe, über die es bei seiner Drehung in die Hälfte mit dem höheren Auftrieb gelangt. Die vertikale Schlagbewegung der Blätter beeinflußt auch periodisch den Anstellwinkel der Luft und reguliert so den Auftrieb des Flügelblattes während seiner Umdrehung; so werden auch Belastungsschwankungen vermieden. Setzt sich beim Hubschrauber der Rotor in Drehbewegung, so ist der Flugzeugrumpf bestrebt, sich entgegengesetzt zu drehen (Newtonsches Prinzip: Wirkung ist gleich Gegenwirkung). Durch zwei gegenläufige Rotoren oder eine seitlich angebrachte Heckschraube (Abb. 7) können diese Drehbewegungen ausgeglichen werden; bei der Verwendung von kleinen Rückstoßturbinen an den Rotorenden als Antrieb stellen sie sich nicht ein.

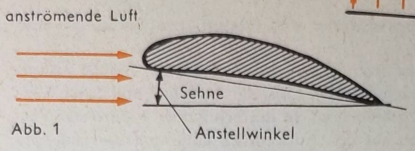


Abb. 1

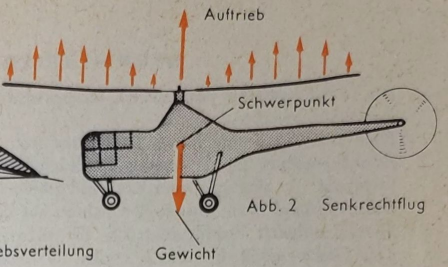


Abb. 2 Senkrechtflug

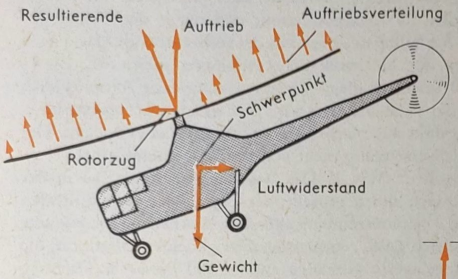


Abb. 3 Vorwärtsflug

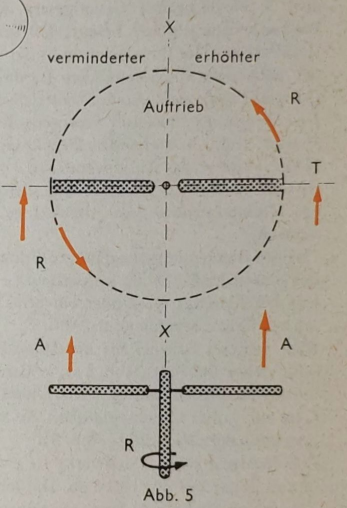


Abb. 5

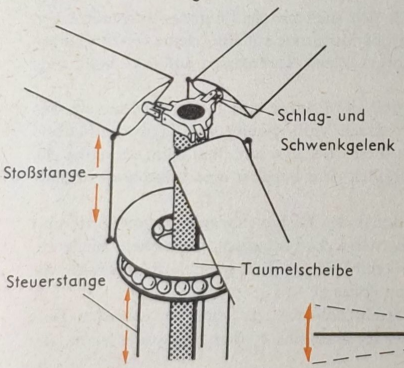


Abb. 4 Rotorkopf

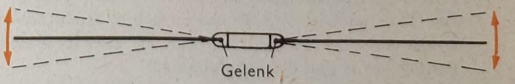


Abb. 6

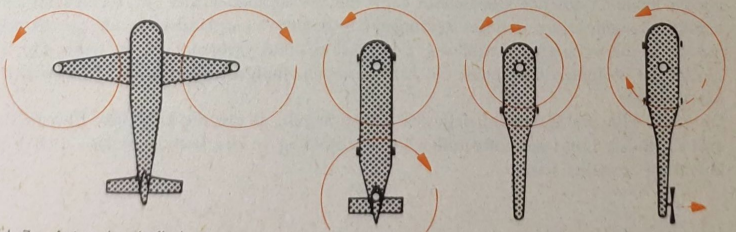


Abb. 7 Arten der Aufhebung der Drehbewegung des Rumpfes

STRAHLTRIEBWERKE I

Die in der Luftfahrt verwendeten Strahltriebwerke sind Gasturbinen-, Staustrahl- und Raketentriebwerke.

Die Vortriebswirkung dieser Triebwerke (mit Ausnahme der Raketen) beruht grundsätzlich auf einer Impulsänderung der durchgesetzten Luft, die verdichtet und durch Verbrennung von eingespritztem Kraftstoff erhitzt wird. In der Schubdüse werden die Verbrennungsgase beim Ausströmen nahezu auf den Außendruck entspannt und auf eine Geschwindigkeit beschleunigt, die die der eintretenden Luft wesentlich übersteigt. Der Geschwindigkeitszuwachs ergibt die Impulsänderung und damit den Schub des Triebwerks, da dieser der zeitlichen Änderung des Impulses der ausgestoßenen Masse nach dem 3. Newtonschen Grundgesetz der Mechanik entgegengesetzt gleich ist. Dieses Wechselwirkungsgesetz besagt, daß Wirkung gleich Gegenwirkung oder Aktion gleich Reaktion ist. Die Druckenergie in der Brennkammer wird also in Impuls umgewandelt, der nach dem Impulssatz dem Produkt aus Masse × Geschwindigkeit entspricht. Der Gasstrahl stößt sich also zur Vortriebserzeugung nicht von der Umgebungsluft ab.

Das Gesetz von Newton veranschaulicht Abb. 1: Das Wasser wird durch den in der Wasserleitung herrschenden Druck nach außen gepreßt, der Impuls des ausströmenden Wassers liefert die Aktionskraft. In Übereinstimmung mit dem Wechselwirkungsgesetz tritt gleichzeitig als Reaktion eine gleich große, entgegengesetzt gerichtete Kraft auf, die ein Drehmoment auf das drehbar gelagerte Gestänge ausübt und dieses in Drehung versetzt.

Das am Rasensprenger erläuterte Prinzip läßt sich auch auf das Flugzeug anwenden, bei dem entweder durch die Luftschraube eine große Luftmasse auf eine kleine Geschwindigkeit beschleunigt wird oder ein Strahltriebwerk kleine Luftmassen auf sehr hohe Geschwindigkeit beschleunigt (Abb. 2).

Eine weiteres Beispiel für den Impulssatz und das Prinzip von Newton bietet ein geschlossener Behälter (Abb. 3 a), in dem z. B. durch Verbrennung von Treibstoff Wärme und damit Druck erzeugt wird. Öffnet man diesen Behälter auf einer Seite, so treten die Gase mit hoher Geschwindigkeit aus und erteilen dem Behälter eine Schubkraft in entgegengesetzter Richtung (Abb. 3 b).

Die Leistung eines Triebwerks ist proportional der Dichte der angesaugten Luft und nimmt daher mit der Höhe ab. Da der Widerstand des Flugzeugs in gleichem Maße abnimmt und die kältere Ansaugluft einer größeren Wärmezufuhr gleichkommt, nimmt die Flugzeuggeschwindigkeit in größeren Höhen etwas zu.

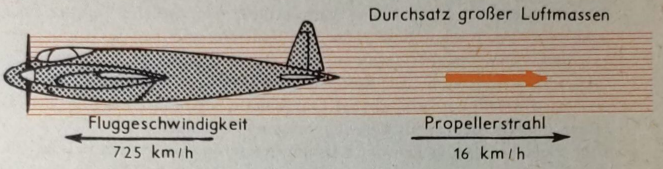
Das Staustrahltriebwerk ist das einfachste Strahltriebwerk, da keine umlaufenden Teile vorhanden sind. Es baut sich nur aus dem Einlaufdiffusor, dem Einspritzsystem, der Brennkammer und der Schubdüse auf.

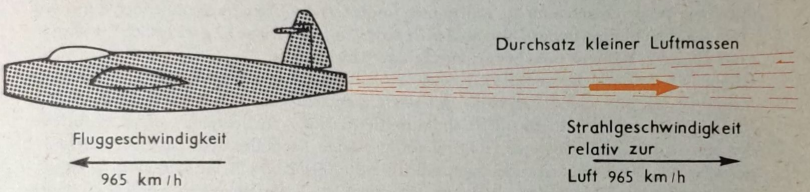
Strömt Luft in ein Rohr ein, dessen Querschnitt sich in Strömungsrichtung zunächst erweitert (Abb. 4 a), so bewirkt die Verzögerung eine Drucksteigerung (s. S. 10). Der nach hinten wieder kleiner werdende Querschnitt kehrt die Verhältnisse wieder um. Es entsteht kein Schub, vielmehr tritt durch die Reibungsverluste eine Widerstandskraft auf. Spritzt man jedoch in die verzögerte Strömung Treibstoff ein und verbrennt diesen (Abb. 4 b), so nimmt das Volumen und damit die Austrittsgeschwindigkeit der Gase zu — es entsteht ein Vortrieb.

Im Stand gibt das Staustrahltriebwerk keinen Schub, da nur die kinetische Energie der anströmenden Luft die notwendige Druckerhöhung in der Brennkammer durch Verzögerung bewirken kann.

Abb. 1 Das Newtonsche Prinzip

Abb. 2 Vergleich Propeller - Strahlantrieb





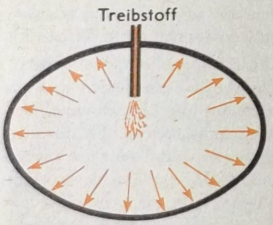


Abb. 3a Erwärmung - größerer Druck

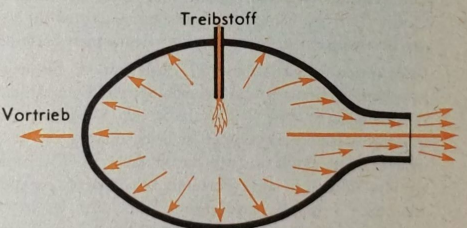


Abb. 3b Austretende Partikel erzeugen Vortrieb

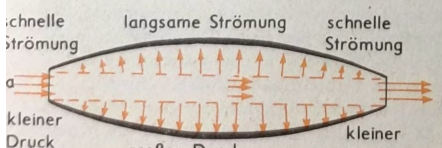


Abb. 4 Staustrahlrohr mit und ohne Erwärmung der Luft

STRAHLTRIEBWERKE II

Turbinen-Luftstrahltriebwerke (TL-Triebwerke) verfügen zusätzlich über einen eigenen, von einer Turbine angetriebenen Verdichter und umgehen damit die Nachteile des Staustrahlantriebs (Abb. 1). Durch den Einlaufdiffusor saugt ein mehrstufiger Axialverdichter Außenluft an und verdichtet sie. In die Brennkammer wird Kraftstoff eingespritzt und verbrannt. Die durch die Temperatursteigerung bedingte Volumenzunahme der Gase bewirkt ein schnelles Ausströmen durch Turbine und Schubdüse. An die Turbine geben die Verbrennungsgase nur so viel Energie ab, wie zum Antrieb des Verdichters und der Zusatzaggregate erforderlich ist. Der verbleibende, größere Teil der Energie liefert den Schub (nach dem schon beschriebenen Impulssatz und dem 3. Grundgesetz von Newton; s. S. 694). Der Regulierkörper in der Düse bestimmt die Austrittsgeschwindigkeit des Gasstromes und damit die Größe des Schubes durch Veränderung des Querschnittes der Austrittsöffnung: ein kleiner Querschnitt entspricht einer großen Gasausstrittsgeschwindigkeit (bei jeweils gleichbleibenden Gasmengen).

Eine einfache Möglichkeit der Leistungssteigerung bietet sich bei den TL-Triebwerken durch die Nachverbrennung an, indem man in die aus der Turbine kommenden Gase vor ihrer Beschleunigung in der Düse nochmals Kraftstoff einspritzt. Der schlechte Wirkungsgrad dieses Verfahrens erlaubt nur kurzzeitige Anwendung.

Kleine TL-Triebwerke verwenden einen Radialkompressor, der einfacher und kürzer gebaut ist. Es gibt auch Triebwerke mit Kombinationen von Axial- und Radialstufen.

Für besonders wirtschaftlichen Betrieb im mittleren Unterschallbereich werden Propeller-Turbinen-Luftstrahltriebwerke (PTL) gefertigt, deren Propeller über ein Untersetzungsgetriebe von der Turbinenwelle angetrieben wird (Abb. 2 und 3). Sie zählen zu den kompliziertesten Kraftmaschinen überhaupt. Bei diesen PTL-Triebwerken werden die Gase in der Turbine weitgehend entspannt, da sowohl Verdichter als auch Luftschraube angetrieben werden müssen. Die ausströmenden Gase ergeben jedoch noch einen Restschub.

Neben den dargestellten PTL-Triebwerken gibt es auch Ausführungen mit zwei konzentrischen Wellen, die mit verschiedenen Drehzahlen laufen. Auf beiden Wellen sitzt ein Turbinensatz; eine Welle treibt den Verdichter an, die andere die Luftschraube. Das Zweikreistriebwerk eignet sich besonders für Geschwindigkeitsbereiche, die für den Propeller zu hoch und für das einfache TL-Triebwerk zu niedrig sind. In der mit verlängerten Schaufeln ausgerüsteten Niederdruckkompressorstufe wird ein Teil der vorverdichteten Luft abgezweigt und über eine Umführung (by-pass) in die Schubdüse gedrückt (Abb. 4). Wegen des erhöhten Energiebedarfs der Turbine vermindert sich die Austrittsgeschwindigkeit der Gase, was einer Erhöhung des Vortriebswirkungsgrades gleichkommt. Die bei den PTL-Triebwerken erwähnte Bauweise mit zwei Wellen wird hier ebenfalls angewandt. Die Niederdruckstufe wird von der zweiten Turbinenstufe (in der Abbildung schwarz) und die Hochdruckstufe von der ersten Turbinenstufe (gerastert) angetrieben. Das By-Pass-Verhältnis (Kalt-Warm-Strom) liegt zwischen 0,7 und 2. Zu den Zweikreistriebwerken zählen auch die Mantelstromtriebwerke (aft fan), bei denen die Turbinenschaufeln zum Zwecke zusätzlicher Kaltluftansaugung verlängert wurden. Dies ist konstruktiv einfacher, da vorhandene Triebwerke durch Auswechseln der Turbinenstufen umgebaut werden können.

Strahltriebwerke verfügen meist über eine Einrichtung zur Schubumkehr, um mit kurzen Landebahnen auszukommen. Vor allem werden der Aufprallumlenker und das Schaufelgitter mit Absperrkörpern verwendet.

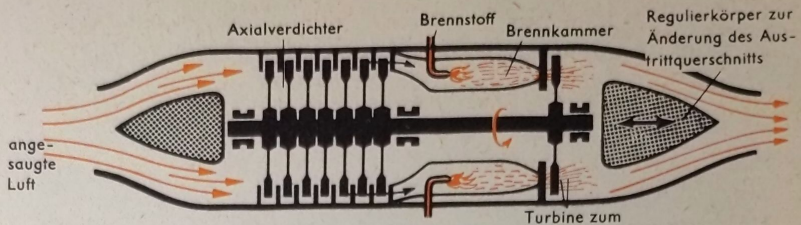


Abb. 1 Schema eines Turbinen-Luftstrahltriebwerks

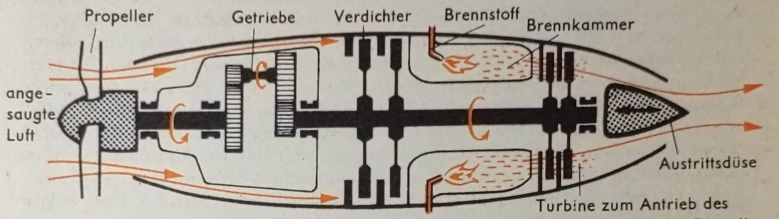


Abb. 2 Schema eines Propeller-Turbinen-Luftstrahltriebwerks

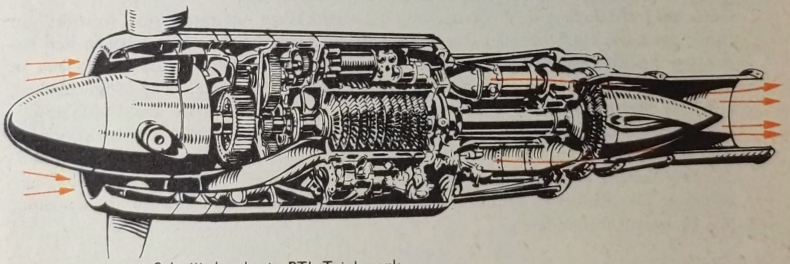


Abb. 3 Schnitt durch ein PTL-Triebwerk

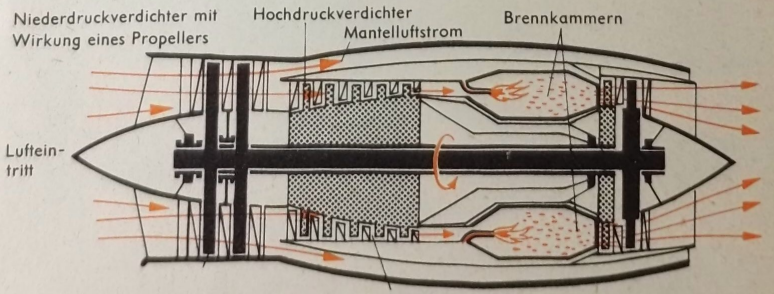
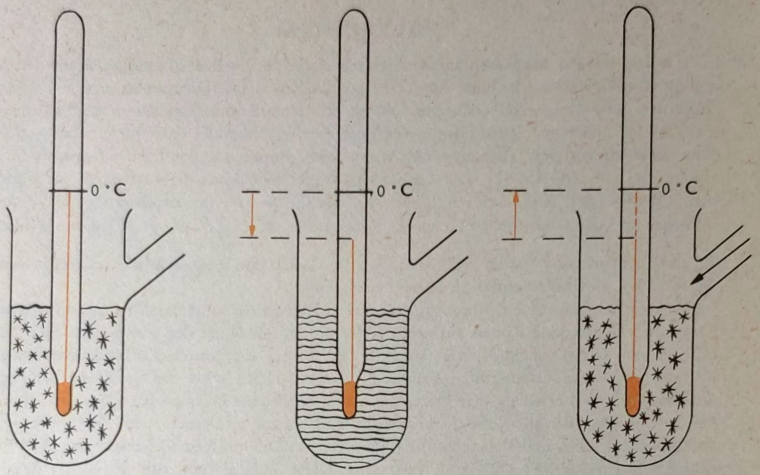


Abb. 4 Schema eines Zweikreis-Turbinen-Luftstrahltriebwerks

VEREISUNG

Von besonderer Bedeutung für die Flugsicherheit ist das Vermeiden von Eisbildungen an Tragflügel-, Leitwerk- und Propellerkanten von Luftfahrzeugen. Da die Eisauflagen zu größeren Veränderungen der Profile und damit zu wesentlichen Änderungen des Auftriebes (s. S. 686 und S. 674) führen, besteht unter Umständen die Gefahr, daß das Luftfahrzeug abstürzt. Die Eisbildung beruht auf einer Erscheinung, die man als Unterkühlung bezeichnet. Normalerweise gefriert Wasser bei 0°C (Abb. 1a). Sehr reines Wasser, wie es durch die Verdampfung über Wasserflächen und anschließende Kondensation zu Tröpfchen in den Wolken entsteht, kann jedoch einige Grad unter den Nullpunkt unterkühlt werden, ohne daß eine Eisbildung einsetzt (Abb. 1b). Um diese zu veranlassen, bedarf es eines äußeren Eingriffes, z.B. einer heftigen Erschütterung, eines einzelnen Stoßes oder des Eindringens eines kleinen Eiskriställchens (Abb. 1c). Dann jedoch tritt die Eisbildung spontan ein und die Temperatur steigt infolge der freiwerdenden Schmelzwärme auf 0°C. Die Schmelzwärme ist die Wärmemenge, die zum Schmelzen einer bestimmten Menge (der Masseneinheit) eines festen Stoffes erforderlich ist. Umgekehrt wird diese Wärmemenge beim Erstarren wieder frei.

Gerät ein Luftfahrzeug in Wolken, deren Wassertröpfchen unterkühlt sind, so wirkt sein Eindringen wie ein Stoß oder eine heftige Erschütterung. Schlagartig scheidet sich Eis auf den Tragflächen, Leitwerken usw. ab. Insbesondere treten diese Abscheidungen an den Kanten auf. Zur Beseitigung der Eisbildung gibt es verschiedene Möglichkeiten, z.B. das Heranführen erwärmter Luft aus den Antriebsaggregaten des Luftfahrzeugs oder den Einsatz nicht gefrierbarer Flüssigkeiten. Am gebräuchlichsten ist jedoch die Enteisung mittels mechanischer Schlauchenteiser (Abb. 2): Elastische Schläuche sind an den Profilkanten angebracht; sie werden beim Eintritt einer Vereisung mit Preßluft aufgeblasen. Die Eiskappe wird dadurch aufgebrochen, die Eisbruchstücke werden durch den Flugwind fortgeblasen.



a) Normales Gefrieren

b) Wasser ist unterkühlt

c) Schlagartiges Gefrieren des Wassers führt zu Temperaturanstieg

Abb. 1

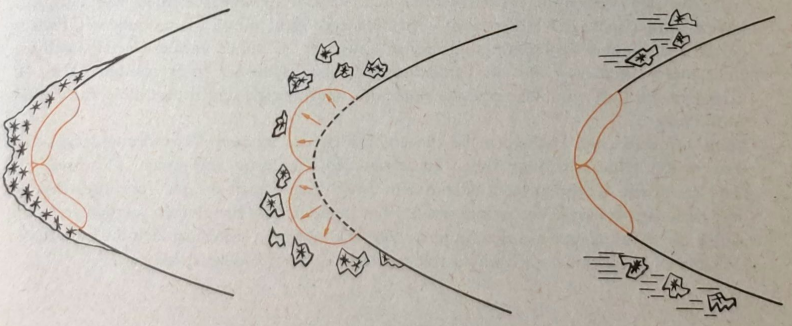


Abb. 2 Mechanisches Absprengen des Eisbelages an der Flügelvorderkante

FALLSCHIRM

Fallschirme werden hauptsächlich zum Herabsetzen der Sinkgeschwindigkeit beim Absprung von Menschen oder beim Abwerfen von Lasten aus Luftfahrzeugen verwendet. Ein Fallschirm gehört zu den selbständigen Luftfahrzeugen und unterliegt den für diese gültigen Gesetzen. Ein nach voller Entfaltung verzögerungsfrei sinkender Fallschirm befindet sich dann im störungsfreien Gleichgewicht, wenn die Resultierende der Luftkraft gleich dem Gesamtgewicht ist (Abb. 2). Die Größe der Widerstandskraft (W) ist dabei abhängig vom Quadrat der Sinkgeschwindigkeit (v), der Größe (F) der projizierten Fläche des Schirmes und dem spezifischen Gewicht (γ) der Luft: $W = \frac{\gamma}{2g} \cdot v^2 \cdot F$. Wird der Winkel der Anströmrichtung gleich Null, dann ist die Größe der Widerstandskraft gleich dem Gewicht bei gleichbleibender Sinkgeschwindigkeit.

Beim Absprung aus einem Flugzeug mit einem Fallschirm wird der Weg bis zum Erdboden in verschiedene Zonen eingeteilt (Abb. 1). In der Zone des freien Falls fällt der Körper mit stetig steigender Geschwindigkeit, bis er eine durch Luftwiderstand und Reibung bedingte Grenzgeschwindigkeit erreicht. Dann wird die Reißleine betätigt, der freie Fall wird erstmals verzögert, wenn sich der kleine Hilfsschirm öffnet. Ist dieser offen, so reißt er den großen Schirm aus der Verpackung und bremst den Fall weiter ab. Auf diese Art wird die Fallgeschwindigkeit von etwa 180 km/h im Zeitraum von zwei bis drei Sekunden auf 18 bis 25 km/h verringert. Diese Verzögerung ruft den Entfaltungsstoß hervor. Nach dem vollkommenen Öffnen beider Schirme beginnt die Sinkzone mit gleichbleibender Geschwindigkeit. Die Sinkgeschwindigkeit hängt dabei nicht nur von der Größe der projizierten Schirmfläche und der Schirmform, sondern natürlich auch von dem zu tragenden Gewicht, der Luftdurchlässigkeit des Schirmmaterials und der Luftdichte ab. Bei einer normalen Sinkgeschwindigkeit (18–25 km/h) ergibt sich ein Landestoß wie bei einem Sprung aus einer Höhe von etwa 1,5 m.

Man unterscheidet nach ihrer Öffnungsvorrichtung manuell betätigte und automatische Fallschirme. Bei ersteren zieht der Springer mittels eines Aufziehgriffes die Verschlußstifte aus den Verschlußkegeln (Abb. 3). Die Verschlußklappen werden von Gummikabeln aufgerissen; der Hilfsschirm wird herausgezogen, durch ein eingebautes Federgestell aus dünnem Federdraht aufgespannt und vom Luftstrom erfaßt. Der Hilfsschirm zieht zuerst die Kappe und die Fangleinen des Hauptschirmes in Strecklage (Abb. 4). Jetzt tritt die Luft vom Basisrand her unter die Schirmkappe und bringt diese zur vollen Entfaltung.

Beim automatischen Fallschirm ist die am Boden des inneren Verpackungssackes befestigte Reißleine mit ihrem freien Ende mit dem Flugzeug verbunden. Der Springer zieht durch sein Körpergewicht beim Fallen den Verschlußstift aus der Verschlußschlaufe und zieht den äußeren Verpackungssack vom inneren. Die Fangleinen werden frei und ziehen die Schirmkappe aus dem inneren Verpackungssack; sie öffnet sich im Luftstrom. Der innere Verpackungssack bleibt mit der Reißleine am Flugzeug hängen.

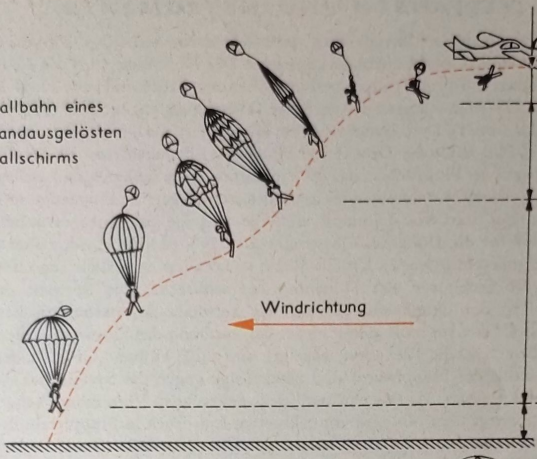


Abb. 1 Fallbahn eines handausgelösten Fallschirms

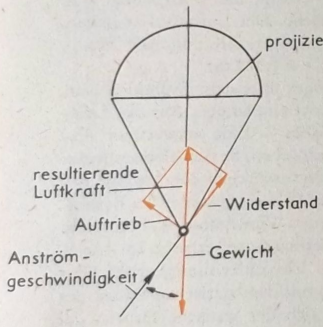


Abb. 2 Am Fallschirm wirksame Kräfte

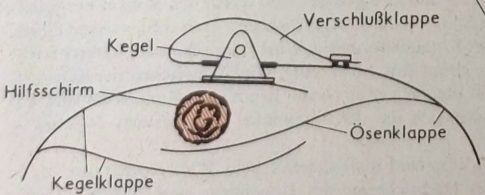


Abb. 3 Lage des Hilfsschirmes zwischen den Klappen

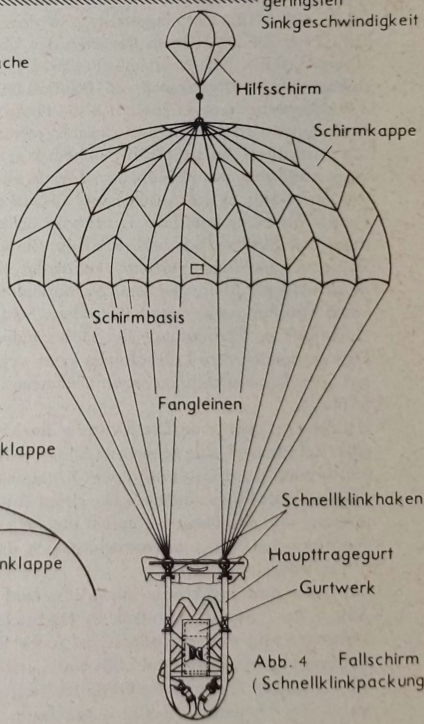


Abb. 4 Fallschirm (Schnellklinkpackung)

FLUGNAVIGATION I
(VERFAHREN UND INSTRUMENTE)

Vertikale Navigation: Mittels eines *Aneroid-Dosenbarometers* (s. S. 256) wird an Bord des Flugzeuges der statische Luftdruck gemessen. Der Dosenhub wird als Maß für den örtlichen statischen Luftdruck genommen und über eine Eichformel zur Flughöhe in Beziehung gesetzt. Die Anpassung an den örtlichen Bodendruck erfolgt über ein Getriebe von Hand (Subskala; Abb. 1). Dem Druck wird ein Höhenwert, die Druckhöhe, zugeordnet. In der Einheit 100 Fuß heißt die Druckhöhe Flugfläche; Bezugsniveau ist die 1013,3-mb-Isobare. Im System der Flugflächen, das die Einhaltung eines senkrechten Passierabstandes zwischen den Flugzeugen untereinander gewährleistet, fliegen die Flugzeuge während des Streckenfluges. Bei Start und Landung muß die Anzeige des barometrischen Höhenmessers ein Maß für die Höhe des Flugzeuges über NN (Altitude) oder über der Flugplatzhöhe (Height) sein (Abb. 2). Um die Werte zu erhalten, verschiebt man mittels eines Stellknopfes die Eichkurve des Höhenmessers senkrecht. Die Systeme der QNH-Höhen (QNH ist der Druckwert, der auf der Subskala des barometrischen Höhenmessers eingestellt werden muß, damit er bei der Landung des Flugzeuges die Höhe des Flugplatzes über NN, die Elevation, anzeigt) und QFE-Höhen (QFE ist der aktuelle Luftdruck in Höhe des Flugplatzes) sind demzufolge gegen das System der Flugflächen senkrecht versetzt (Abb. 3). Das Ausmaß der senkrechten Versetzung hängt von der Höhe des Flugplatzes über NN und vom aktuellen Luftdruck in Flugplatzhöhe ab. Nach dem Start wird vom Piloten beim Passieren der Übergangshöhe der Höhenmesser von QNH auf 1013,3 mb eingestellt. Vor dem Landeanflug erfolgt die Umstellung von 1013,3 mb auf QNH beim Passieren der Übergangsflugfläche. Der Luftraum zwischen Übergangshöhe und Übergangsflugfläche heißt Übergangsschicht, ihre minimale Mächtigkeit wird im allgemeinen auf 1000 Fuß festgelegt (1 Fuß = 0,305 m).

Funkhöhenmesser messen zusätzlich die Höhe eines Flugzeuges über dem Erdboden. Ein Funksignal wird zum Boden gestrahlt, reflektiert und wieder empfangen. Aus der Laufzeit wird die Höhe auf elektronischem Wege bestimmt (Abb. 4). Eine verwertbare Anzeige erhält man nur über ebenem Terrain oder über Wasserflächen, da sich Unebenheiten des Erdbodens in der Anzeige voll auswirken. Die Differenz zwischen der Anzeige des Funkhöhenmessers und der Druckhöhe heißt D-Wert. Der D-Wert gestattet die Bestimmung des Driftwinkels und damit die Berücksichtigung des Windeinflusses. Besondere Bedeutung hat dieses Verfahren auf den großen Überwasserflugrouten erlangt. Im *Variometer* wird als Meßgeber eine Membrandose verwendet. Ein Luftvolumen steht über einen Strömungswiderstand (Kapillare, Schlitz, Diffusor) mit dem statischen Druck der Außenluft in Verbindung. Bei Höhenänderung ändert sich der statische Druck; der Druckausgleich zum Luftvolumen kann wegen des Strömungswiderstandes nur langsam erfolgen. Die Druckdifferenz am Widerstand ist ein Maß für die Vertikalgeschwindigkeit (Abb. 5).

Kursbestimmung: Die Richtung eines Flugweges wird durch den Winkel bezüglich einer Referenzrichtung gemessen (Abb. 6, S. 705). Diese Richtung kann rechtweisend Nord, mißweisend Nord, Gitternord oder Kompaßnord sein. Winkel zwischen der Referenzrichtung und der Flugzeuglängsachse nennt man Steuerkurs, Winkel zwischen der Referenzrichtung und der Tangente an den Flugweg über Grund nennt man Kurs. Kurs und zugehöriger Steuerkurs unterscheiden sich um den Luvwinkel /: Steuerkurs = Kurs + + Luvwinkel.

Der Kurs und zugehörige Steuerkurs sind gleich, wenn kein Wind vorhanden ist. In Abb. 6 ist / negativ (Winkel in Drehrichtung des Uhrzeigers sind positiv). Rechtweisender und mißweisender Kurs (oder Steuerkurs) unterscheiden sich um die Ortsmißweisung. Kompaß- und mißweisender Kurs (oder Steuerkurs) unterscheiden sich um die Deviation. Zusammengefaßt gilt: Rechtweisender Kurs = Kompaßkurs + Ortsmißweisung + Deviation (Fehler durch bordeigene magnetische Störfelder).

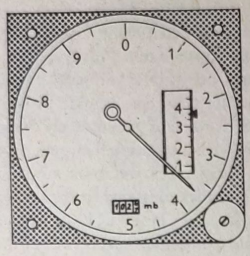


Abb. 1 Anzeige der barometrischen Höhenmessung

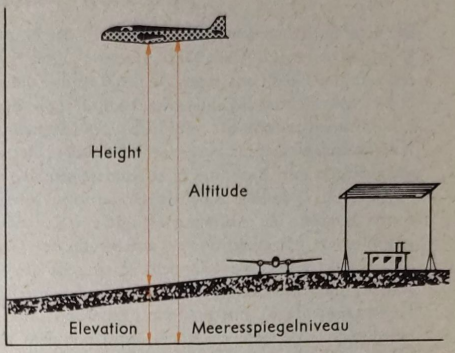


Abb. 2

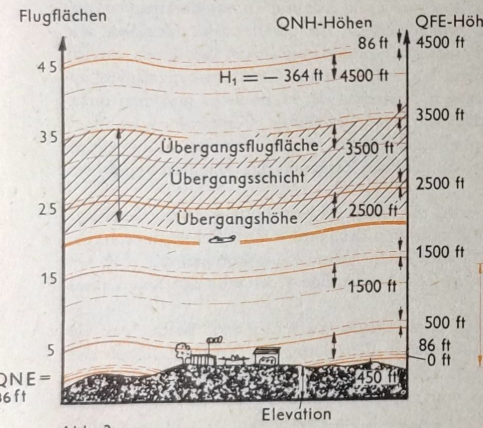


Abb. 3

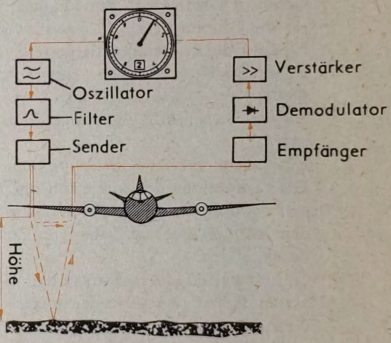


Abb. 4 Funkhöhenmessung

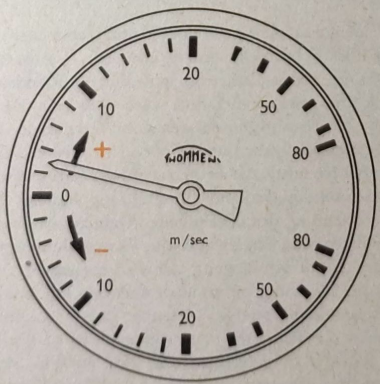


Abb. 5
Luftdruck-Variometer

Bei konstantem rechtweisendem Kurs ist der Flugweg über Grund eine Loxodrome oder Kursgleiche (vgl. S. 680). Der kürzeste Flugweg von A nach B ist nicht die Loxodrome, sondern der Großkreis oder die Orthodrome. Man bestimmt den Großkreis (z. B. mit Hilfe einer Zentralprojektionskarte) und approximiert ihn durch einen Polygonzug von Loxodromenstücken, die mit Hilfe eines Magnetkompasses oder einer kompaßgeführten Kurskreiselanlage gesteuert werden können. Der Kurskreisel zeigt das Azimut in Bezug auf eine gewählte Richtung (z. B. rechtweisend Nord). Der bord- und gehäusefeste Steuerstrich (Abb. 7) dreht sich bei Kursänderungen relativ zum kardanisch aufgehängten raumfesten Kreisel; die Ablesung erfolgt am Kursrahmen. Wegen der Referenz zum geographischen (bewegten) System und infolge von Gerätefehlern wandert der Kreisel aus der Soll-Lage (Drift), die Langzeitkonstanz ist also begrenzt. Für längere Flüge ist der Kreisel mit einem Meßsystem für das erdmagnetische Feld kombiniert (kompaßgeführte Kurskreiselanlage). Für Flüge in größeren Höhen verwendet man vorteilhaft die Astropeilung (s.u.). Bei der Kursmessung mit dem Kurskreisel dient als Referenzrichtung Gitternord. Meistens wird Gitternord in die Richtung von Greenwich zum Nordpol längs des Meridians von Greenwich gelegt (Gittersystem von Admiral Tonta), und man benutzt zur Orientierung ein Gitter, das aus Linien besteht, die parallel zum Meridian von Greenwich verlaufen. Ein Flugweg konstanten Gitterkurses ist ein Großkreis, so daß für die Gitternavigation Karten zweckmäßig sind, in denen Großkreise zumindest annähernd durch Geraden dargestellt werden. Zwischen dem Gitterkurs und dem rechtweisenden Kurs besteht in einer solchen Karte die Beziehung: Gitterkurs = rechtweisender Kurs $\pm$ Kegelkonstante $\times$ geographische Länge. Die Gitternavigation wird vorwiegend in hohen Breiten angewendet, da in diesen Regionen der Magnetkompaß versagt.

Eine astronomische Kursbestimmung wird mit Hilfe des Astrokompasses durchgeführt. Die vom Azimut der Sonne abhängige Polarisation des Himmelsstreulichtes nutzt hingegen der für die lange Polardämmerung entwickelte Dämmerungskompaß aus. Mit beiden Instrumenten wird die von Zeit zu Zeit notwendige Korrektur des Kurskreisels durchgeführt.

Geschwindigkeitsmessung: Man unterscheidet zwischen dem Betrag der Geschwindigkeit gegenüber der umgebenden Luft v_e, dem Betrag der Geschwindigkeit über Grund v_g und der Windgeschwindigkeit nach Größe und Richtung v_w. Es ist v_g die vektorielle Summe von $v_e + v_w$. Das von den drei Vektoren gebildete Dreieck nennt man Winddreieck (Abb. 8); es ist für die gesamte Flugnavigation von grundlegender Bedeutung.

Die Bestimmung der Eigengeschwindigkeit von Flugzeugen relativ zur umgebenden Luft geschieht vorwiegend über Staudruckmessung mit dem *Fahrtmesser*. Meßgeber ist das außerhalb des Rumpfes im freien Luftstrom angebrachte Prandtl-Rohr. Die Differenz zwischen Gesamtdruck und statischem Druck wird über eine Membrandose gemessen und angezeigt (Abb. 9). Zur Ermittlung der genauen Werte ist der Einfluß der veränderlichen Luftdichte zu berücksichtigen. Für die Navigation ist die Geschwindigkeit über Grund wichtig; sie ist bei Kenntnis des örtlichen Windvektors berechenbar. Die direkte Messung der Grundgeschwindigkeit kann mit dem Dopplergerät erfolgen.

Ortung: Die Sichtbeobachtung des überflogenen Gebietes ist heute bedeutungslos. Bei Flügen über unbesiedelten Gebieten erfolgt die Ortsbestimmung durch Peilung von Gestirnen; hierfür wird heute vorwiegend der Periskopsextant verwendet (Abb. 10). Das Gerät wird für die Messung durch eine Öffnung im Rumpf nach außen geschoben; Entwicklungstendenz: stetige Messung durch automatische Beobachtung (selbsttätiges Nachführen der Peiloptik). Am weitesten ist in der Verkehrsluftfahrt die *Funkortung* verbreitet. Bei der Funkeigenpeilung wird an Bord des Flugzeuges mittels einer Richtempfangsantenne gemessen, unter welchem Winkel relativ zur Flugzeuglängs-

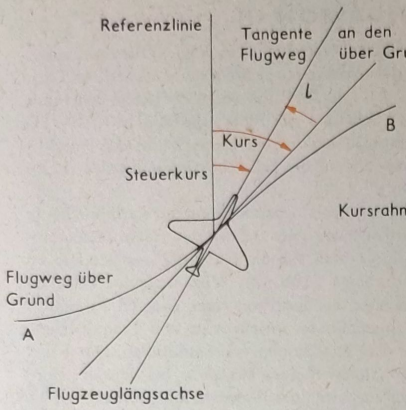


Abb.6

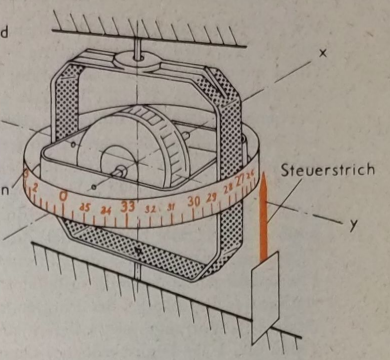


Abb.7 Schema des Kurskreisels

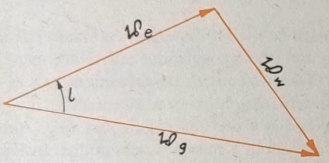


Abb.8 Winddreieck

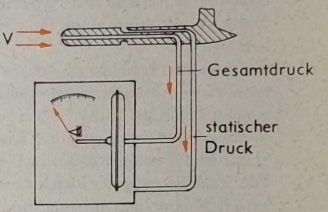


Abb.9 Fahrtmesser (Prandtl-Rohr)

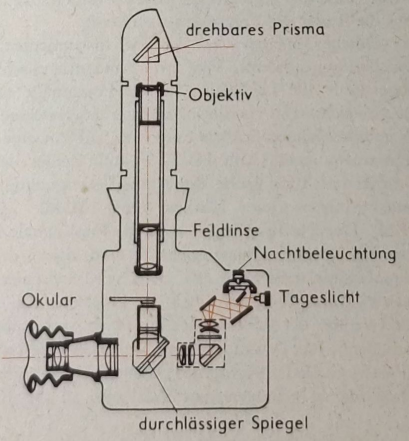


Abb.10 Periskopsextant

achse die elektromagnetischen Wellen einfallen. Dieser Einfallswinkel ist die Funkseitenpeilung (↗). Zur Funkseitenpeilung wird der rechtweisende Steuerkurs addiert, und man erhält die rechtweisende Funkpeilung (rw ↗). Die Addition von 180° liefert den Funkstandlinienwinkel (↗ Stdlw.), dessen einer Schenkel die Funkstandlinie ist (Abb. 11). Der Schnitt mehrerer Standlinien (meistens peilt man drei Sender an) liefert den Standort. Bei Funkpeilungen über große Entfernungen muß die rw ↗ korrigiert werden (Loxodromenbeschickung, Großkreisbeschickung).

Der Funkkompaß ist ein MW-Empfänger, dessen Antennenanordnung mit Kardioidcharakteristik über eine automatische Nachführvorrichtung stets auf den gewählten Sender ausgerichtet wird. Die Stellung der Antenne als Maß für die Richtung des Senders zur Flugzeuglängsachse wird dem Piloten angezeigt (Abb. 12). Wird nicht an Bord des Flugzeuges ein bodenseitig installierter Sender, sondern von einer anderen Empfangsstation der Bordsender des Flugzeuges angepeilt, so spricht man von Fremdpeilung.

Andere Funkortungssysteme liefern ein bodenfestes System von Standlinien. Das *VOR*- (Abk. für: *V*ery High Frequency *O*mnidirectional *R*ange) *Verfahren*, bei dem der Bordempfänger des VOR-Gerätes das Signal der ausgewählten Bodenstation (Bereich 112–118 MHz) empfängt und aus einem Phasenvergleich zwischen Bezugs- und richtungsabhängiger Phase das Azimut des Senders bezüglich des Empfängers bestimmt, liefert von einem Punkt strahlenförmig ausgehende Standlinien, während z. B. das *Decca-Verfahren* ein bodenfestes System von Hyperbeln ergibt. Zur Funkortung gehört ferner die Bestimmung der Position eines Flugzeuges mittels eines auf dem Boden installierten Radargerätes.

Vollkommen unabhängig von äußeren Signalen ist die *Inertialortung*. Auf einer stabilisierten Plattform sind Beschleunigungsmesser in drei (meist zueinander rechtwinkligen) Richtungen befestigt. Diese Geräte messen die nichtgravitativen Beschleunigungen in ihren Komponenten zum gewählten Koordinatensystem. Durch ein- bzw. zweimalige Integration erhält man die augenblickliche Geschwindigkeit sowie den zurückgelegten Weg (Abb. 13). Die Stabilisierung der Plattform wird vorwiegend mit Kreiseln durchgeführt. In Erdnähe ist ein Nachdrehen entsprechend der Gestalt der Erdkugel zum Horizontieren erforderlich; wie bei allen Kreiselgeräten ist für längere Flugzeiten eine Stützung durch andere Verfahren notwendig. Hier wie bei anderen Verfahren können die gewonnenen Werte auf einen Autopiloten (Flugregler) geschaltet werden, der anstelle des Piloten die Übertragung auf die Ruder des Flugzeuges vornimmt.

Das heute übliche *Anflugverfahren* ist das Instrumentenlandesystem ILS (Abk. für: *I*nstrument *L*anding *S*ystem). Von zwei Antennensystemen am Boden werden Funksignale abgestrahlt, die Leitebenen für die horizontale und vertikale Führung bilden (Abb. 15). Abweichungen von diesen Ebenen lassen sich aus dem Anwachsen der Signalstärke des entsprechenden Sektors erkennen. Die Anzeige erfolgt als Kommandosignal mit dem Kreuzzeigergerät (Abb. 14). Es ist je ein Zeiger für die Horizontal- und Vertikalführung vorhanden. Eine grobe Entfernungsanzeige ergibt sich beim Durchfliegen der Markierungsfunkfeuer Outer Marker (OM), Middle Marker (MM) und Boundary Marker (BM). Der Bordempfänger setzt die Funksignale in hörbare und visuelle Kennungen um. Für Blindlandungen reicht die Genauigkeit des gegenwärtig gebräuchlichen Instrumentenlandesystems nicht aus, doch wird an seiner Verbesserung gearbeitet. Bei einem anderen Anflugverfahren wird das Flugzeug von einem am Boden installierten Radargerät verfolgt, der Pilot erhält über Funk Anweisungen, das Flugzeug wird „heruntergesprochen" (talk down). Dies ist der bodenseitig kontrollierte Anflug GCA (Abk. für: *G*round *C*ontrolled *A*pproach). Hinsichtlich der Anflugverfahren versucht man, zur Allwetterlandung zu gelangen; zur Zeit wird an der Lösung dieses Problems noch gearbeitet.

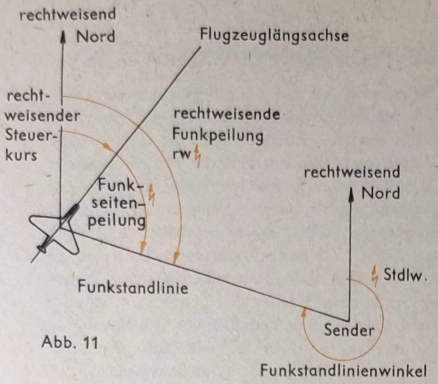


Abb. 11

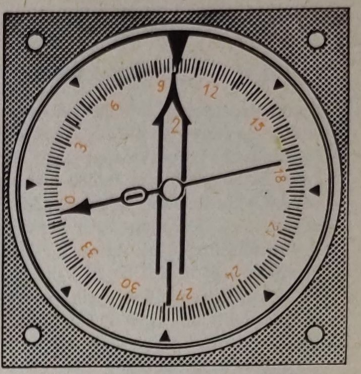


Abb. 12 Funkkompaß und VOR

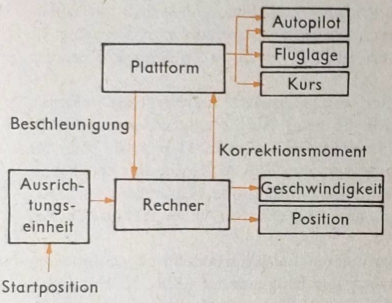


Abb. 13 Blockschema der Inertialortung

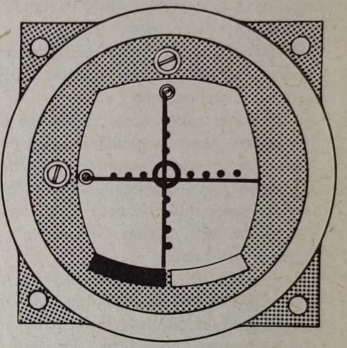


Abb. 14 Bordanzeige beim ILS-Anflug

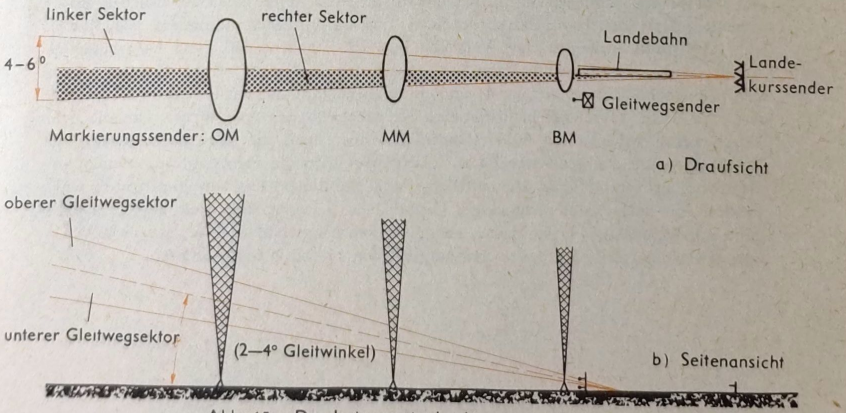


Abb. 15 Das Instrumentenlandesystem (ILS)

LUFTKISSENFAHRZEUGE (BODENEFFEKTGERÄTE) I

Luftkissenfahrzeuge bestehen in ihrem einfachsten Aufbau aus einem Fahrzeugkörper, in dem ein Rotor (Gebläse) so untergebracht ist, daß er durch einen Luftstrahl unter dem Fahrzeug ein Luftpolster erzeugen kann, auf dem das Fahrzeug schwebt. Es hat daher keinerlei Kontakt zum Boden, hat also auch nicht die bei anderen Bodenfahrzeugen wirkende Rollreibung zu überwinden. Deshalb müssen Luftkissen„fahrzeuge" strenggenommen zu den Flug- oder Schwebegeräten gezählt werden. Wegen der fehlenden Rollreibung treten bei diesen Luftkissenfahrzeugen aber Stabilitäts-, Brems- und Lenkprobleme auf, die sich bei Radfahrzeugen praktisch von selbst lösen. Beim Schweben der Luftkissenfahrzeuge mit geringem Abstand von der Bodenfläche führt der sog. Bodeneffekt zur Bildung eines Luftpolsters. Der Strahl eines Rotors, der sich bei großem Abstand von der Erdoberfläche als Kreisstrahl (der gesamte kreisförmige Querschnitt des Strahls wird gleichmäßig durchströmt) ausbildet, wird in Erdnähe zum Ringstrahl (Abb. 1). In der Mitte unter dem Rotor entsteht ein Druckpolster, in dem nahezu keine Strömung zu erkennen ist. Am Rande dieses Polsters bildet sich ein Ringstrahl aus, der das Druckpolster gegen den niedrigeren Außendruck abdichtet und es dadurch erhält. Infolgedessen werden die Auftriebswerte wesentlich größer, weshalb zum Schweben in Bodennähe ein kleinerer Leistungsaufwand erforderlich ist als in größerer Entfernung von der Erdoberfläche.

Es ist heute schon eine beachtliche Reihe der verschiedensten Schwebegeräte bekannt, bei denen dieser Bodeneffekt ausgenutzt wird. So zeigt Abb. 2 ein Schwebegerät mit Vollkammer, eine besonders einfache und übersichtliche Bauart. Hier stellt sich der Bodenabstand als Gleichgewichtshöhe abhängig von Ein- und Ausstrom ein. Da aber in der Kammer nur ein niedriger Druck herrscht, muß man große Kammerflächen, also Fahrzeuge mit großen Grundflächen bauen, um einigermaßen große Traglasten befördern zu können.

Die heutige Entwicklung geht wegen des geringeren Leistungsbedarfs gegenüber dem Vollkammergerät in Richtung auf das Fahrzeug mit Ringkammer (Abb. 3). Hier wird der Ringstrahl durch entsprechende Luftführung direkt erzeugt, da sich wie gesagt die Auftriebswerte durch gute Ringstrahlausbildung stark erhöhen. Die Neigung der Düsen auf der Unterseite um einen bestimmten Winkel nach innen liefert eine weitere Steigerung des senkrechten Schubes. Der Vortrieb wird meistens durch einen zusätzlichen Rotor erzeugt. Als Antriebsmaschinen scheinen Luftstrahlturbinen besonders geeignet zu sein. Aufgrund umfangreicher Versuche hat sich ergeben, daß diese Fahrzeuge leistungs- und stabilitätsmäßig dann am günstigsten betrieben werden können, wenn ihre Schwebehöhe etwas kleiner als ein Zehntel ihres Durchmessers ist, d. h., ein Fahrzeug mit vier Meter Durchmesser hätte eine Schwebehöhe von etwa 40 cm. Um die beim Vorwärtsflug auftretenden Widerstandskräfte, aber auch die Breitenausdehnung des Fahrzeugs nicht zu groß werden zu lassen, baut man die Fahrzeuge meist nicht mit kreisförmiger Grundfläche, die auftriebs- und stabilitätsmäßig am günstigsten wäre, sondern mit ovaler oder rechteckiger Grundfläche. So zeigt Abb. 4 ein geplantes Fährgerät mit rechteckiger Grundfläche, das mit einem Ringstrahl arbeitet; es soll 400 t Gesamtgewicht bei einer Spitzengeschwindigkeit von 160 km/h transportieren.

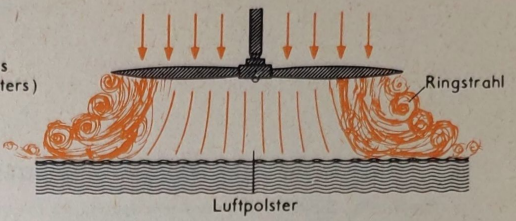


Abb. 1 Bodeneffekt (Ausbildung eines Ringstrahles und eines Luftpolsters)

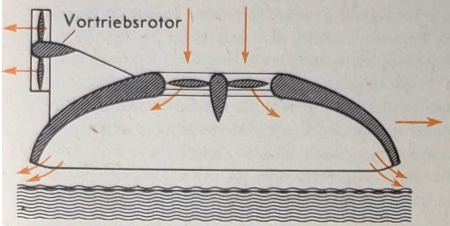


Abb. 2 Vollkammergerät (Fortbewegung mit Strahlimpuls)

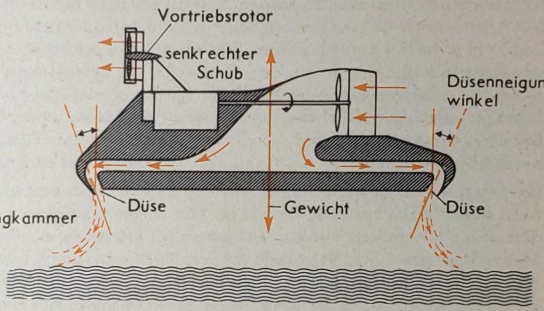


Abb. 3 Fahrzeug mit Ringkammer

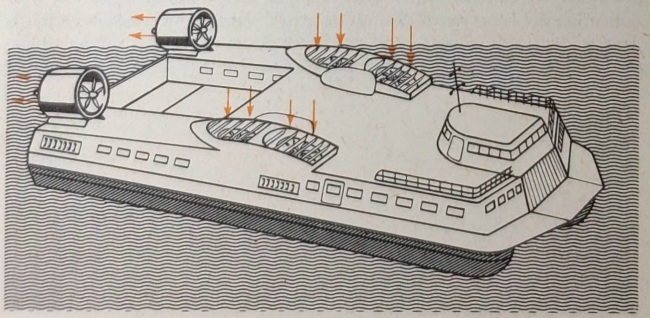


Abb. 4 Geplantes Fährgerät für Passagiere (Gesamtgewicht 400 t, Geschwindigkeit bis 160 km/h)

LUFTKISSENFAHRZEUGE (BODENEFFEKTGERÄTE) II

Die Kräfte, die bei der Vorwärtsbewegung an einem Schwebefahrzeug angreifen, sind in Abb. 5 dargestellt. Bei steigender Geschwindigkeit gewinnt der reine Luftwiderstand steigenden Einfluß. Außer diesem reinen Formwiderstand, der sich auch bei der Vorwärtsbewegung von Flugzeugen ergibt, tritt jedoch zusätzlich ein Impulswiderstand auf, der durch die Beschleunigung der zur Polsterbildung benötigten Luft entsteht. Bei kleinen Geschwindigkeiten ist dieser Impulswiderstand größer als der Formwiderstand, bei hohen Geschwindigkeiten ist es umgekehrt. Bei der Vorwärtsbewegung können die hinten liegenden Düsen auf der Fahrzeugunterseite nach hinten verstellt werden. Auf diese Weise übernimmt der Luftstrahl, der das Luftpolster erzeugt, etwa 20% des Vortriebes, so daß der eigentliche Rotor für den Horizontalantrieb nur 80% der gesamten Vortriebsenergie aufbringen muß.

Beim Schwebefahrzeug mit Rückstrompolsterdichtung (Abb. 6 und 7) wird die Randdichtung durch einen Randkreisstrom der Luft erzeugt. Hierbei ergeben sich die geringsten Luftverluste und damit der beste Wirkungsgrad. Allerdings wird der bauliche Aufwand dadurch erheblich größer. So wird bei dem Schwebegerät mit Rückstrompolsterdichtung nach Abb. 7 von dem Ringstrahl ein Betrag abgezweigt und am Rand durch eine entsprechende Ausführung des Randbleches wieder nach innen gelenkt. Der Luftstrom durchläuft dabei eine diffusorartige Erweiterung an der Unterseite des Schwebegerätes, wodurch sich seine Geschwindigkeit vermindert. Dies ergibt nach der Bernoullischen Gleichung (vgl. S. 10) eine Druckerhöhung und damit zusätzlichen Auftrieb.

Bremsung und Lenkung erfolgten bei den Luftkissenfahrzeugen aerodynamisch. Einfache Ruderflächen zur Lenkung wie bei Flugzeugen können zwar bei hohen Geschwindigkeiten gut eingesetzt werden, sind jedoch bei kleinen Geschwindigkeiten unwirksam. Man steuert daher diese Fahrzeuge mit Impulsen, etwa durch seitliches Anbringen von Steuerrotoren. Durch Impulse wird auch gebremst, indem man Vortriebsschrauben durch negativen Anstellwinkel der Rotorblätter einen Umkehrschub erzeugen läßt.

Bremsung und Lenkung sind bei weitem nicht so effektvoll wie bei einem Radfahrzeug; sie werden noch Gegenstand großer Forschungsarbeit sein müssen. Stabilitätsfragen spielen beim Betrieb der Luftkissenfahrzeuge jedoch die entscheidende Rolle. So wird z.B. die Stabilität bei der Fahrt durch den mit steigender Fahrgeschwindigkeit ebenfalls größer werdenden Flugstaudruck gefährdet, weil durch diesen das Polster auf der Unterseite abgebaut wird. Der Flugstaudruck darf im äußersten Fall nur so groß werden wie der Polsterdruck.

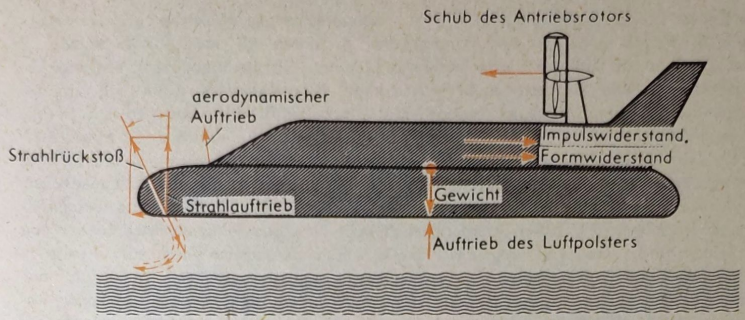


Abb. 5 Kräfte, die bei der Vorwärtsbewegung am Schwebegerät angreifen

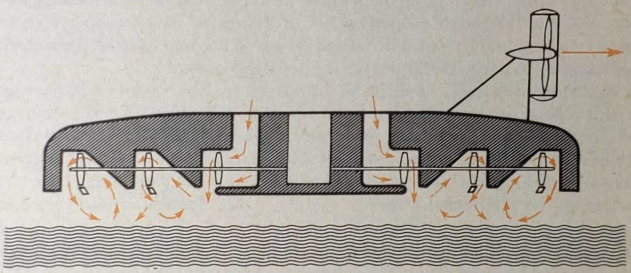


Abb. 6 Schwebegerät mit Rückstrompolsterdichtung
(System Weiland, zweistufig)

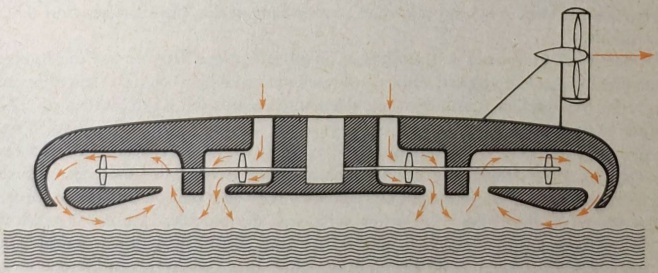


Abb. 7 Schwebegerät mit Rückstrompolsterdichtung
(System Miller, einstufig)

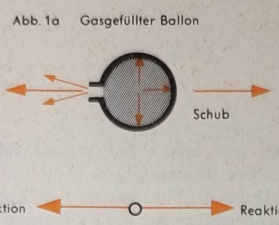
RAKETEN I

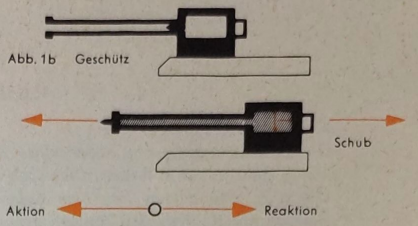
Die Rakete ist ein Flugkörper, der alle zur Erzeugung seiner Vortriebsenergie erforderlichen Mittel mit sich führt und vorgegebene Nutzlasten mit oder ohne Einschaltung eines Lenksystems auf geforderte Geschwindigkeiten beschleunigen bzw. auf entsprechende Höhen oder Reichweiten befördern kann. Eine Rakete ist dabei nicht auf das Vorhandensein einer Atmosphäre angewiesen — von den Strahltriebwerken (s. S. 694 ff.) unterscheidet sich dadurch der Raketenantrieb grundsätzlich. Während die Strahltriebwerke Luft als Arbeitsmittel verwenden und daher von der Umgebung abhängig sind, was sich auch durch eine Beschränkung in Flughöhe und Fluggeschwindigkeit ausdrückt, ist der Raketenantrieb von der Umgebung unabhängig und in Flughöhe und Geschwindigkeit „unbegrenzt". Allen Strahlantrieben liegt Newtons fundamentales Gesetz von „Aktion" und „Reaktion" zugrunde, das in seiner einfachsten Form zum Ausdruck bringt, daß jede „Aktion" eine gleichgroße, entgegengesetzt gerichtete „Reaktion" auslöst. Aus diesem sog. dritten Bewegungsgesetz Newtons läßt sich der Impulssatz ableiten, der für alle Strahlantriebe Anwendung findet. Diese Zusammenhänge werden an einfachen Beispielen in Abb. 1 erklärt. Läßt man z. B. bei einem Ballon (Abb. 1a) das Gas in einer Richtung entweichen (Aktion), dann bewegt sich der Ballon in entgegengesetzter Richtung (Reaktion).

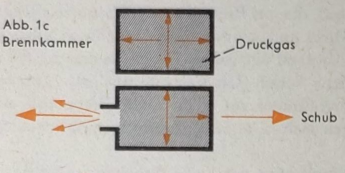
Beim Geschütz (Abb. 1b) liegen ähnliche Verhältnisse vor. Um die Masse des Geschosses auf die Mündungsgeschwindigkeit zu beschleunigen, muß die in der Geschützbrennkammer mit Hilfe einer Pulvertreibladung erzeugte Gasdruckkraft eine gewisse Zeit wirken. Das Produkt aus Gasdruckkraft und Zeit wird dabei als der Kraftstoß oder Impuls bezeichnet und ist gleich dem Produkt aus Masse und Mündungsgeschwindigkeit des Geschosses, der sog. Bewegungsgröße des Geschosses.

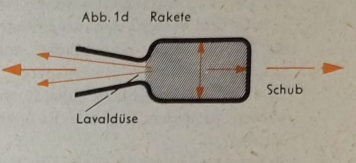
Beim Raketenantrieb liegen ähnliche Verhältnisse vor (Abb. 1c und 1d). Erzeugt man in einer Brennkammer ein heißes Druckgas, dann übt das Gas nach allen Seiten auf die Wände den gleichen Druck aus. Wird eine Seite geöffnet, dann strömt das Gas mit Überschallgeschwindigkeit aus, wobei gleichzeitig eine auf die Brennkammerstirnseite wirkende Reaktionskraft auftritt, die die Rakete in Bewegung setzt. Diese Vortriebskraft (Schub) ist gleich dem Produkt aus der in der Zeiteinheit ausströmenden Masse und der Ausströmgeschwindigkeit. Dies bedeutet, daß der Schub um so größer wird, je größer der sekundliche Gasmassendurchsatz und je höher die Ausströmgeschwindigkeit ist. Der Schub wird also nicht durch ein „Abstoßen" des ausströmenden Gases an der Umgebung (Atmosphäre) erzeugt, sondern tritt stets als Reaktionskraft auf, wenn aus einem geschlossenen System eine Masse mit hoher Geschwindigkeit ausströmt. Der Raketenantrieb ist daher das einzige Antriebssystem, das auch im luftleeren Raum arbeiten kann. Abb. 2 zeigt praktische Anwendungen des Impulssatzes und des Rückstoßprinzips.

Wenn der Treibstoffvorrat vollständig in Schub umgesetzt ist, verfügt die Rakete über die maximale Geschwindigkeit. Diese Endgeschwindigkeit ist von der Ausströmgeschwindigkeit der Masseteilchen und dem sog. Massenverhältnis der Rakete abhängig. Darunter versteht man das Verhältnis von Anfangsmasse (Startmasse einschließlich Treibstoffvorrat) zu Endmasse (= Anfangsmasse vermindert um die Masse des verbrauchten Treibstoffes). Eine Steigerung der Endgeschwindigkeit ist mit Hilfe der mehrstufigen Rakete möglich. Jede Stufe besitzt ein eigenes Triebwerk und enthält den erforderlichen Treibstoffvorrat; die letzte Stufe trägt außerdem die Nutzlast. Ist der Treibstoffvorrat einer Stufe verbrannt, so wird sie mechanisch von den übrigen Stufen abgetrennt. Der von der nächstfolgenden Stufe entwickelte Schub dient zur weiteren Geschwindigkeitssteigerung der nunmehr verringerten Raketenmasse.









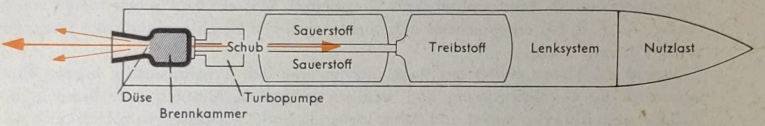
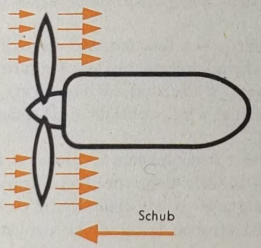


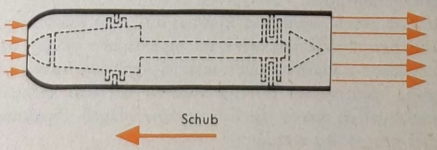
Abb. 2 Impulssatz und Newtons „Aktion-Reaktion"

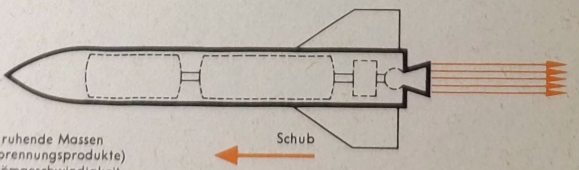
Vortriebskraft oder Schub = zeitl. Massendurchsatz x Geschwindigkeitsänderung der Gasmassen



Luftschraube beschleunigt relativ große Massen bei kleinem Geschwindigkeitszuwachs

Gasturbine beschleunigt Gasmassen (Luft + Verbrennungsprodukte) bei relativ großem Geschwindigkeitszuwachs





Rakete beschleunigt ruhende Massen (Treibstoff bzw. Verbrennungsprodukte) auf sehr hohe Ausströmgeschwindigkeit

RAKETEN II

Raketenantriebsarten

Die Beschleunigung der Masse eines Arbeitsmittels auf hohe Ausströmgeschwindigkeiten kann in einem Raketentriebwerk auf verschiedene Weise erfolgen.

Die z. Z. eingesetzten *chemischen Raketen*, die in Feststoff-, Flüssigkeits- und hybride Raketen unterteilt werden können, erzeugen in einer Brennkammer heiße Druckgase, die in einer Düse beschleunigt werden.

Bei den Feststoffraketen wird der feste Treibstoff, der aus Brennstoff- und Sauerstoffträger besteht und verschiedenartige Oberflächenformen und Anordnungen annehmen kann, in die Brennkammer eingebracht, wobei beim Abbrand ein heißes Druckgas erzeugt wird, das, in einer Lavaldüse entspannt, verschiedene Schub-Zeit-Verläufe auslöst. Daneben besteht die Möglichkeit, einen flüssigen Sauerstoffträger auf einen festen Brennstoff einwirken zu lassen (hybride Raketen), wodurch sich u. a. Schubregelungsmöglichkeiten ergeben.

Bei einer anderen Methode (im Versuchsstadium) wird das heiße Druckgas nicht durch chemische Verbrennung eines Treibstoffsystems, sondern mit Hilfe von Kernenergie erzeugt, wobei ein Arbeitsmittel (z. B. Wasserstoff, Wasser usw.) in einem Kernenergiereaktor (vgl. S. 84) entsprechend aufgeheizt wird. Die Beschleunigung des Druckgases erfolgt in einer Düse.

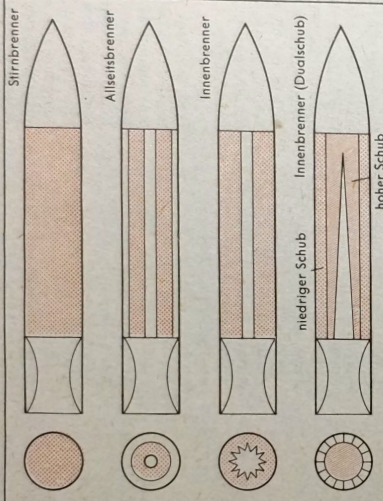
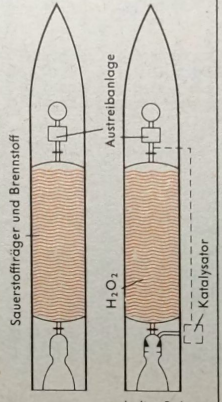
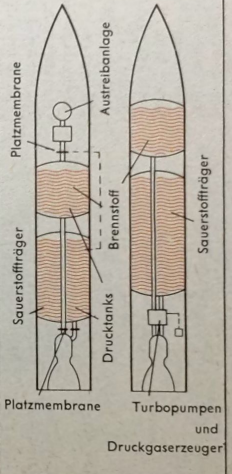
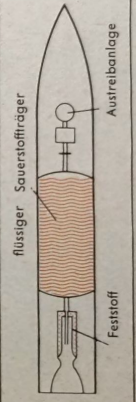
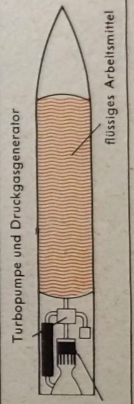
Während die bisher erwähnten Raketentriebwerke bei verhältnismäßig kurzen Brennzeiten in der Größenordnung von wenigen Sekunden, Minuten oder Stunden hohe Schübe verwirklichen lassen und daher imstande sind, Nutzlasten vom Erdboden abzuheben, ist eine neue Art von *Raumraketen* in Entwicklung, die niedrige Schübe bei relativ hohen Antriebsgewichten, aber lange Brennzeiten aufweisen und daher nur im Raum Anwendung finden können.

Von diesen sogenannten elektrischen Raketen sind die elektro-thermischen oder Strombogenraketen (Arc-Jet) den chemisch- bzw. nuklear-thermischen Raketen am ähnlichsten, da wiederum ein Arbeitsmittel (Wasserstoff, Helium usw.) aufgeheizt und in einer Düse „thermodynamisch" beschleunigt wird, wobei die Aufheizung mit Hilfe eines elektrischen Strombogens erfolgt.

Bei den elektrostatischen oder Ionenraketen werden mit Hilfe elektrostatischer Felder Ionen bei kleinsten Schüben auf sehr hohe spezifische Impulse beschleunigt. Das System besteht aus einer Ionenerzeugungs- sowie einer Ionenbeschleunigungsanlage und einer Neutralisierungszone, wo Elektronen beigemischt werden, um das elektrische Gleichgewicht wiederherzustellen.

Eine weitere Art beschleunigt ein Plasma, d. h. ein ionisiertes Gas mit mehr als 50% geladenen Teilchen mittels eines elektromagnetischen Feldes. In diese Gruppe fallen die elektromagnetischen-, Plasma- oder magnetohydrodynamischen [MHD]-Raketen.

Zur Erzeugung elektrischer Energie müssen bei den elektrischen Raketen entsprechende Energiequellen, wie z. B. Kernenergieanlagen (Spaltung, kontrollierte Fusion) im Flugkörper mitgeführt werden.

Art der Stoffe	chemisch-thermische Raketen				nuklear-thermische Raketen
	fest	flüssig	flüssig-flüssig	fest-flüssig (Lithergol)	Kernenergie + flüssig
schematischer Aufbau					
Treibstoff-systeme	doppelbasische Treibstoffe, zusammengesetzte Treibstoffe	CH_3NO_3 Methylnitrat H_2O_2 + Kalium-permanganat	Treibstoff: Kerosin, Hydrazin, Wasserstoff Sauerstoff, Reaktionsstoffe: O_2, F_2, HNO_3	sauerstoffarmer Treibstoff + O_2, HNO_3, H_2O_2	Arbeitsmittel: Wasserstoff, Ammoniak, Wasser
Ausströmge-schwindigkeit	bis 3000 m/s	2000 m/s	bis 4500 m/s	2500 m/s	7000 – 30000 m/s

REGISTER

A

Abbildung 182
Abbildungsgröße 184
ABC-Trieb 54
Abdampfturbine 74
Aberration, chromatische 182
Aberration, sphärische 182
Abloteverfahren 242
Abperleffekt 510
Abreißfunke 126
Abschirmschild 84
Absetzbecken 268
Absorberkühlschrank 348
Absperrorgane 318
Abstimmanzeigeröhre 150
Abstrahlungsvorgang 100
Abtastnadel 388
Abwasser 272
Accelerator 268
Acetat 486
Acetatfasern 486
Acetatverfahren 486, 488
Achromat 182
Achse (Kfz) 624, 626, 628
Achse (Kristall) 22
Acrylnitril 442
Addition, maschinelle 366
Adhäsion 50
Affinität 20
Agnar 182
Akkommodation 170
Akkumulator 96
Aktionsturbine 74
Alpakawolle 480
α-Teilchen 574
Altitude 702
Alweg-Bahn 670
Amperestundenzähler 258
Amplitudenmodulation 102, 114, 140
Amylase 464
Anastigmat 182
Anbaumähwerk 546
Aneroidbarometer 256, 702
Anfahrkupplung 610
Anflugverfahren 706
Angorawolle 480
Anhängepflug 546
Anker 94, 124, 640
Anlasser 598
Anode 96, 104
Anregung, thermische 30
Anstellwinkel 678, 686, 692
Antenne 100, 102
Antihaloschicht 230
Antikathode 136
Antiklopfmittel 66
Apertur 172
Apoferment 54
Apo-Lanthar 182
Apotar 182
appretieren 524
Äquipotentialfläche 88, 120
Arbeit 14, 16
Arbeitsvorrat 14
Archimedisches Prinzip 48, 674
Ärmelfutter 498
Asphalt 60, 448
Aspirationshygrometer 36
Astigmatismus 170, 182
Atemmaske 558
Atlasbindung 498
Atmosphärendruck 44
Atom 18, 22
Atomantrieb 16
Atomenergie 84
Atomkern 20
Atommodell 18, 20
Atomreaktor 84
Atomschale 20
Atomuhr 254
Ätzdruck 510
Audionschaltung 114
Auflösungsvermögen 174
Aufschaukeln 234
Auftrieb 48, 674, 686, 692
Aufzug 306
Augapfel 170
Auge 170
Auge, magisches 150
Ausfallswinkel 168
Ausflockung 268
Ausgleichgetriebe 612, 622
Ausklinkhöhe 690
Auslegerkran 302
Auslöser 188
Ausrüstung (von Textilien) 508, 510
Außenelektron 20
Austrittspupille 178
Autoachse 626
Autofederung 624, 626, 628
Autohupe 640
Autolenkung 632
Automaten 396-399
Automatverschluß 188
Autopilot 706
Auto-Quinon 182
azyklisch 18

B

backen 54
Backenbremse 634, 636
Backhitze 54
Backofenbrenner 346
Backpulver 54
Backstagswind 676
Backwaren 54
Baconsche H_2-O_2-Zelle 82
Bake 680
Balkenwaage 248
Ballast 48
Ballistik 576
Ballon 48
Ballonkorb 48
Bananenhanf 478
Bandenspektrum 164
Bändermodell 112
Bandlaufgeschwindigkeit 394
Barkhausen-Kurz-Schwingung 106
Barometer 256
Bastseide 482
Batist 496
Batterie 96
Batteriezündung 604
Baumwolle 474
Baur 82
Beatmungsapparat, automatischer 558
Beetpflug 546
beizen 452, 510
Belichtungsmesser 210
Belichtungssteuerung, automatische 206
Benzin 60, 66, 68
Benzin, synthetisches 68
Bergbahnen 666, 668
Bernoullische Gleichung 10
Bessemerbirne 414
Bessemerverfahren 414
β-Strahlung 574
Betatron 138
Beton 278, 280
Betonstein 282
Betonwerkstein 282
Beugung 164
Beugungsgitter 164
Biberschwanzziegel 274
Bier 464
Bier, obergäriges 464
Bier, untergäriges 464
Bildfeldwölbung 182
Bildfenster 218

Bildinhalt 152
Bildsignal 152
Bildtelegraphie 144
Bildwandler 158
Bildweite 168
Biluxlampe 638
Bimetallfeder 642
Bimetallfühler 40
Bimetalloffsetdruck 534
Bimetallsicherung 346
Bimetallstreifen 40, 128, 642
Bimetallthermometer 34
Bindung, abgeleitete 498
Bindung, kovalente 22
Bindung, metallische 22
Bindungslehre 496, 498
Biokatalysator 54
Biotar 182
Bitumen 448
Blase 26
Blattfederung 624
bleichen 500, 508, 514
Blende 192, 218, 220
Blende, rotierende 218
Blendenzahl 192
Blinker 642
Blinkgeber 642
Blitzableiter 304
Blitzlampe 212
Blitzleuchte 212
Blitzröhre 214
Blitzschlag 120
Blitzsynchronisation 188, 190
Blitztechnik 190
Blut 564
Bockbier 464
Bodeneffektgeräte 708, 710
Bodenwelle 114
Bogen 286
Bogenentladung 130
Bogenkreuzung 656
Bogenlampe 130
Bogenweiche 656
Bohr, Niels 20
Bohrsche Atomtheorie 20, 30
Boiler 344
Boje 680
Borg-Warner-Getriebe 620
Bottichwaschmaschine 518
Bourretteseide 482
Boxermotor 588
Boxkamera 180
Bramme 416
Brauerei 464
Braunkohle 56, 446
Braunsche Röhre 156
Braunstein 96
Brechung 164
Brechungsindex 164
Brechungswinkel 164
Brechungszahl 164
Breitbildverfahren 222, 224
Breitschären 500
Bremsen 634, 636
Bremspedal 634
Bremsstrahlung 136
Brenner 336
Brennfleck 130
Brennkammer 76, 694, 696, 712
Brennpunkt 168
Brennstoffelement 82
Brenntemperatur 274
Brennweite 168, 184
Brennweitenwechsel 186
Briefverteilung 380
Briefverteilungsanlage 380
Briefwaage 248
Brikettfabrikation 446
Brille 170
Brisanz 568
Brisanzwert 568
Bronzeglocke 422
Brot 54
Brotröster 342
Brücke 294, 408
Brückenbau 294
Brückenkran 302
Brückenwaage 248
Brunnen 264
Brustbaum 496
Bruttoformel 18
Buchbinderei 542
Buchdruck 530
Bügeleisen 356
Bühne 406, 408
Bühnenboden 408
Bühnenhaus 408
Bühnenraum 406
Bühnenwagen 408
Buna 434, 442
Bunsen 164
Buntbartschloß 320
Butadien 434
Butter 458
Butterschmalz 458

C

cablecar 664
Cadmiumselenid 132
Cadmiumsulfid 132, 228
Calciumwolframat 134
Caprolactam 490
Cassar 182
Celluloid 442, 444
Cellulose 438, 488
Celsius 34
Champagner 468
Charmelaine 498
Chemiefasern 442, 486, 488, 490
Cheviot 480
Chiffon 496
Chlorkautschuk 442
Cholesterin 458
Chronometer 682
CinemaScope 222
Cineramaverfahren 224
Coferment 54
Collodiumwolle 444
Color cinescope 199
Core 84
Cottonmaschine 506
Coulomb 86
Cowperapparat 410
Cretonne 496
Crossbredschaf 480
Crossley-Trommel 260
Cupro 486
Cuprofaser 486
Curtis-Turbine 74

D

Dach 288
Dachneigung 288
Dämmerungszahl 178
Dampfdruckdiagramm 38
Dampfdruckkurve 38
Dampfgeschwindigkeit 74
Dampfheizung 312
Dampfkessel 70
Dampflokomotive 646
Dampfmaschine 72
Dampfstrahl-Luftsauger 10
Dampfturbine 74
Darre 464
Datenverarbeitung 370-379
Demodulationskreis 114
Depolarisator 96
Destillat 26
Destillation 26
Destillation, fraktionierte 26
Destillation, trockene 26
Destillationskolonne 26
Destillationsrückstand 26
Destilliergeräte 26
Destillierkolben 26
Detonationsgeschwindigkeit 568
Deutschleder 498
Diaskop 226
Dickenschwingung 116, 252
Diesellokomotive 650
Dieselmotor 588, 592
Dieselöl 60
Differential 622
Diffraktion 164
Diffusion 24
Diffusionspumpe 12
Diffusor 74
Dipol 90
Doppellenkerwippkran 302
Doppelquerlenker 628
Doppelstockbühne 408
Doppelweiche 656

Doppler 236
Dopplereffekt 236
doublieren 500
Draht 420
Drahtherstellung 420
Drall 454, 576
Drehachse 22, 576
Drehbühne 406, 408
Drehkeilentfernungsmesser 216
Drehmoment 576, 580
Drehschalter 126
Drehspiegelachse 22
Drehstabfederung 624
Drehstrom 98, 100, 102
Drehzylinderbühne 408
Dreischneider 542
Dreschkorb 548
Dreschtrommel 548
Druck (physikal.) 42
Druck, osmotischer 24
Druck, statischer 10
Druckabstufung 74
Druckdestillation 26
drucken (Papier) 530, 532, 534, 536
drucken (Textilien) 508, 510
Druckform 530
Druckknopfschalter 126
Druckknopfspüler 330
Druckkugelschreiber 384
Druckluftbremse 652
Druckventil 46
Druckwasserreaktor 84
Druckwasserspülung 330
Druckzylinder 530
Duchesse 498
Duplex-Bremse 636
Durchlauferhitzer 26, 344
Durchlauf-Gaswasserheizer 338
Düse 78
Duvetine 498
Dynamit 568
Dynamo 94

E

Echo 234
Echolot 680, 682
Echolotung 238
Edelgas 20
Edelgaskonfiguration 20
Effekt, lichtelektrischer 132
Effekt, piezoelektrischer 116, 238, 252
Effektspur 222, 224
Ehrenberg 82
Eidophorgerät 160
Eigenstrahlung 136
Einfallswinkel 164, 168
Einhängemaschine 542
Einphasenwechselstrom 258, 648
Einscheibenkupplung 608
Einspritzdüse 596
Einspritzpumpe 596
Einthoven, Willem 560
Eintrittspupille 192
Einwegdestillation 26
Einweichmittel 514
Eisenbahn, Sicherheitsvorrichtungen 654
Eisenbahnbrücke 294
Eiweiß 458
EKG (Elektrokardiogramm) 560
Ekkyklema 406
Elektrizitätszähler 258
Elektrode 88, 96
Elektrodynamik 90, 92
Elektrokardiographie 560
Elektrolyt 96
Elektromagnet 90
Elektron 20, 86, 92, 112, 174
Elektronenbahnen 30
Elektronenblitz 188, 214
Elektronenemission 130
Elektronengas 92
Elektronenhülle 20, 30
Elektronenkonfiguration 20
Elektronenkonzentration 92
Elektronenladung 20, 86
Elektronenlinse, magnetische 174
Elektronenmangel 86
Elektronenmikroskop 174,
Elektronenrechner 374
Elektronenröhre 104
Elektronenstrahl 152, 174
Elektronenstrom 92
Elektronentheorie 20
Elektronenüberschuß 86
Elektronenvolt 16
Elektronenzustandsbereich 30
Elektroofen 130, 414
Elektrophotographie 228
Elektrostahl 414
Elektrostatik 86, 88
Element 18
Elementarladung 20, 86
Elmar 182
Elmarit 182
Email 430
Empfänger 102
Empfindlichkeit 230, 394
Emulsion 230, 458
Energie 14, 16
Energie, chemische 16
Energie, elektrische 16
Energie, kinetische 14
Energie, potentielle 14
Energieeinheiten 16
Energieerzeugung 16
Energiequelle 16
Enteisenungsanlage 268
Enteisung 698
Entfernungsmesser 216
Entfernungsmeßverfahren, elektronisches 244
Entladung, elektrische 130
Entmanganungsanlage 268
Entropie 52
Episkop 226
Erdanziehungskraft 28
Erdgas 62, 68
Erdgasgewinnung 62
Erdöl 58, 60
Erdölfraktion 68
Erdölpech 60
Erdölvorrat 58
Erdpech 448
Erdpotential 120
Erdung 120
Erg 14
Essig 462
Essigbakterien 462
Essigsäure 462
eV 16
evakuieren 10
Explosionsstoffe 568
Explosionswärme 568
Extraktivdestillation 26
Exzenterpresse 42

F

Faden 492
Fäden, synthetische 486
Fadenheftmaschine 542
Fahnentuch 496
Fahrdraht 648
Fahrenheit 34
Fahrplan 662
Fahrrad 578, 580, 582, 584
Fahrstuhl 306
Fahrtmesser 704
Fallschirm 700
Fallstromvergaser 602
Falzmaschine 542
Falzpfanne 274
Fangbremse 666
Faradayscher Käfig 120
Faradaysches Induktionsgesetz 122
Farbauszug 195, 198
Farbdruck 195
färben 500, 510
Färberei 508, 510
Farbfernsehen 196-199
Farbphotographie 200-205
Farbschnitt 542
Farbsignal 198
Farbstoff, adjektiver 510
Farbstoff, substantiver 510
Farbstoffsensibilisator 230
Farbtripel 199
Faserflor 492

Fasern 486, 492
Faulgas 62
Faulschlamm 272
Federring 290
Federung 624, 626, 628
Federwaage 248
Feinspinnerei 492, 494
Feld, elektrisches 88
Feldlinie, magnetische 90
Feldlinienfluß 90
Feldstärke, elektrische 88
Feldstecher 178
Ferment 54
Fermentation 470
Fernamt 142
Fernbrille 170
Fernrohr 172, 176, 178
Fernrohr, holländisches 176
Fernrohr, terrestrisches 176
Fernschreiber 144
fernsehen 152
Fernsehkameraröhre 154
Fernsehnorm 154
Fernsehschirm 152
Fernsprechvermittlung 142
Fesselballon 48
Feuerlöschgerät 32
Fibroin 482
Filmkamera 218, 220
Filmmaterial 230
Filmprojektor 220
Filterglas 424
Fixierbad 230
Fixpunkt 34
Flachdruck 534, 536
Flachkettenwirkmaschine 506
Flachs 476
Flachziegel 274
Flammrohr 70
Flaschengärverfahren 468
Flaschenzug 298
Fledermaus 238
Fliehkraft 28
Flimmererscheinung 220
Flocke 492
Flockenflachs 476
Flor 494
Florteilerverfahren 492
Flossenkiel 676
Flotte 510
Flügelprofil 686
Flugnavigation 702, 704, 706
Flugregler 706
Flugstaudruck 710
Flugzeug 686
Flüssigkeit, inkompressible 10
Flußstahl 414
Fock 676
Formel, chemische 18, 20
Foulard-Färbemaschine 510
Francis-Wasserturbine 44, 80
Franklin, Benjamin 304
Freiballon 48
Freiflußventil 318
Freihändigfahren 578
Freilauf 582
Freilauf-Bremsnabe 582, 584
Freistrahlturbine 78
Frequenzband 140
Frequenzbereiche 98
Frequenzgang 394
Frequenzmodulation 102, 140
Fresko 496
Fretz-Moon-Verfahren 418
Frischdampfzufuhr 72
frischen 414
Fruchtwandfaser 474
Fruchtwein 468
Füllgas 48
Füllhalter 382
Funkenüberschlagsspannung 88
Funkhöhenmesser 702
Funkkompaß 706
Funkortung 704
Funkseitenpeilung 706
Fußgängerbrücke 294

G

Gaffelsegel 676
Galerie 408
Galilei-Fernrohr 176
Galtonpfeife 238
γ-Strahlung 574
gären 54
Garn 492, 494
Gärung 466
Gärungswirkstoff 466
Gas 60
Gasbetonstein 284
Gasbrenner 346
Gasdrucklader 572
Gasentladung 130
Gasentladungsrohr 134
Gasheizung 314
Gasherd 346
Gasöl 60
Gasradiator 314
Gassicherung 346
Gasturbine 76
Gasturbinentriebwerk 694
Gaszähler 260
Gauß-Doppelanastigmat 182
Gebläse 334
Gebläsespülung 590
Gefachautomat 398
Gefrierpunkt 34
Gegendruckturbine 74
Gegenmutter 290
Gegenstandsweite 168
Geiger-Müllersches Zählrohr (Geigerzähler) 574
Gemische 28
Gemische, Trennung der 28
Generator, elektrischer 92, 94
Generatorgas 64
Georgette 496
Geradeausfahren 578
Gerbstoff 452
Gerste 464
Geschmeidigkeit (Textilien) 524
Geschwindigkeitsstufung 74
Gesichtsfeldblende 172
Gestricke 504
Getreidestärke 54
Getriebe 612, 614, 616, 618, 620
Getriebe, automatisches 616, 618, 620
Gewebe 496, 498
Gewehr, automatisches 572
Gewicht 248
Gewicht, spezifisches 28
Gewinde 290
Gewölbe 286
Gicht 410
Gitter 104
Glas 424
Glas, organisches 426
Glasfaden 482
Glasfaser 482
Glasherstellung 424
Glasmacherpfeife 424
Gleichdruckturbine 74
Gleichfeldrauschspannungsabstand 394
Gleichrichter 110, 118
Gleichstrom 92
Gleisplan 660
Glimmlampe 134
Glocke 330, 422
Glockenbronze 422
Glockenguß 422
Glühelektronenröhre 104
Glühkathode 104, 156
Glühlampe 354
Golfers 480
Gondel 666
Goodyear 436
Grat-Köper 498
Grauguß 410
Greifer 220, 302
Grenzfläche 164
Grenzflächenaktivität 516
Grieß 454
Grillbrenner 346
Großkreis 680, 704
Großsegel 676
Grubengas 62
Grundwasser 264
Grünmalz 464

Gummi 432
Gummilinse 186

H

Haare 492
Haftschale 170
Hahnküken 318
Halbdurchlässigkeit 24
Halbleiter 112, 132
Halbleiterdiode 110, 112
Halbwollgolfers 480
Hall-Effekt 92
Hallenofen 274
Handsatz 526
Hanf 476
Hartbrandziegel 274
Hartguß 410
Hartporzellan 428
Haspelseide 482
Hauptsignal 660
Hautwolle 480
Hebelarm 298, 580
Hebelkasse 364
Hebelspüler 330
Hechelflachs 476
Hefezelle 54
Height 702
Heißluftturbine 76
heizen 52
Heizflamme 70
Heizkissen 342
Heizkörper 308
Heliar 182
Heligon 182
Hellschreiber 144
Hemmwerk 188
Hertzscher Dipol 100
Herz-Lungen-Maschine 564
Heubergung 552
Hintergrundprospekt 408
Hochdruckdampf 70
Hochdruckhydrierung 68
Hochdrucksammelpresse 552
Hochfrequenz 98
Hochfrequenzverstärkung 102
Hochleistungskessel 70
Hochleistungstrennkolonne 26
Hochofen 410
Hochsegel 676
Hochspannungstransformator 118
Höchstfrequenz 98
Hochvakuum 12
Hochveredelt 524
Höhenmessung 244, 702
Hohlblockstein 284
Hohlraum 30
Hohlraumresonator 100, 108
Hohlziegel 274
Hollerith-Lochkartenverfahren 368
Holz 438
Holzschnittdruck 530
Homespun 496
Hopfen 464
Hubpumpe 44
Hubschrauber 692
Hüttenzement 410
Hydra-Matic-Getriebe 618
hydrophil 514
Hydrophilie 50
hydrophob 514
Hydrophobie 50
Hydroxidion 18

I

Ikonoskop 154
Image-Orthicon 154
Impulsfolge 140
Impulssatz 696
Induktion 92, 94
Induktionsspannung 122
Induktionsspannungsdifferenz 92
Induktionsstrom 122
Induktionszähler 258
Inertialortung 706
Influenz 86
Informationsverarbeitung 370, 372, 374, 376, 378
Infrarotstrahlung 30
Initialzündstoff 570
Inkohlungsprozeß 56
Intubationskatheter 558
Ion 22
Ionenbindung 22
Ionisation, thermische 130
Isolierung 296
Isomere 18
Isoprenmolekül 432

J

Joch 90
Jolle 676
Joule 14
juke-box 402
Justi 82
Jute 476

K

Kadett 498
Kalorie 16
Kälteempfinden 36
Kaltfärberei 510
Kamelwolle 480
Kameraverschluß 188, 190
Kanal 140
Kanalbrücke 294
Kapazität 88, 98
Kaplanturbine 80
Kapok 474
Karbon 56
Kardanwelle 622
Kardenband 494
Kathodenstrahlrohr 156
Kattun 496
Kautschuk 432, 434
Kelle 284
Kelvin 34
Kernenergie 16
Kernladungszahl 20
Kesselspeisewasser 70
Kettdichte 498
Kettengewirke 504
Kettenreaktion 84, 566
Kettenware 504
Kettfaden 496
Kilokalorie 16
Kilopond 14
Kilowatt 14
Kilowattstunde 14, 16
Kippschalter 126
Kirchhoff 164
Klangbild 114
Kläranlage 272
Klebeband 50
kleben 50
Klebling 50
Kleie 454
Klimaaggregat 332
Klimaanlage 332
Klingel 324
Klinker 274, 284
klopffest 60
Klöppel 324
Klystron 108
Koaxialkabel 140, 152
Kochplatte 340
Kohäsion 50
Kohle 56
Kohleelektrode 130
Kohlefaden 354
Kohlemikrophon 142
Kohlendioxid 32, 38, 54
Kohlensäureschnee 38
Kohlensäureschneelöscher 32
Kokon 482
Kokos 478
Kokosfaser 478
Koks 64
Kolben 72
Kolbenfüllhalter 382
Kolbenkompressor 46
Kolbenmaschine 94
Kolbenpumpe 44
Kolbenverdichter 46
Kollationierung 542
Kolumne 526
Kompaß 682, 684
Kompaßnadel 90
Komplementärfarbe 164, 195
Kompressor 46, 300, 334

Kompressorkühlschrank 348
Kondensationsturbine 74
Kondensator 88
Kondensatormikrophon 142
kondensieren 26, 36
Konduktor 86, 88, 90
Königszapfen 302
Konstitutionsformel 18
Kontaktschale 170
Kontinuitätsgleichung 10
Köperbindung 498
Köpergratlinie 498
Korkenzieherregel 90
Korn 548
Korrosion 430
Kraft 248, 580
Kraft, abstoßende 86
Kraftarm 298
Kraftkomponente 14
Kraftstoff 26
Kran 302
Krater, positiver 130
Kreisbeschleuniger 138
Kreisel 576
Kreiselkompaß 682, 684
Kreiselpflug 546
Kreiselpumpe 44
Kreiskolbenmotor 594
Krempelwolf 492
Kreuzkopf 72
Kreuzspulinstrument 34
Kreuzung 656
Kreuzungsweiche 656
Kristalle 22
Kristallform 22
Kristallgitter 22, 92
Kristallklasse 22
Kristallsystem, hexagonales 22
Kristallsystem, kubisches 22
Kristallsystem, monoklines 22
Kristallsystem, rhombisches 22
Kristallsystem, tetragonales 22
Kristallsystem, trigonales 22
Kristallsystem, triklines 22
Krümmungsmittelpunkt 168
krumpfecht 524
Kugelschreiber 384
Kühleffekt 36
Kühlfalle 12
Kühlschrank 348
kulieren 506
Kuliergewirke 504
Kundtsches Rohr 234
Kunstfaser 442
Kunststein 282
Kunststoff 442
Kunze-Knorr-Bremse 652
Kupfer 92
Kupferstich 532
Kupferverfahren 488
Kupolofen 410
Kupplung 608, 610
Kupplung, automatische 610
Kupplungsvorgang 608
Kurbelpresse 42
Kurzschluß 128
kurzsichtig 170
Kurzstroh 548
Kurzwegdestillation 26

L

Ladung, aufgesprühte 86
Ladung, elektrische, gleichnamige 86
Ladung, elektrische, ungleichnamige 86
Ladungsausgleich 90
Ladungsträger 92
Lamawolle 480
Landbutter 458
Längenmessung 242
Lanthar 182
Lärm 232
Laser 108
Lastarm 298
Lastmagnet 302
Laue-Diagramm 136
Läufer 94
Laufkatze 302
Laufrad 74
Lauge 18
Lautsprecher 116
Lautstärke 232
Lavaldüse 74
Lecithin 458
Leder 452
Lederbalg 180
Lederhaut 452
Lehm 274
Leichtbenzin 66
Leichtbetonstein 284
Leim 50
Leinen 476
Leinöl 476
Leinwandbindung 496
Leistung 14, 16
Leistungsfaktor (bei Wechselstrom) 258
Leiter, metallischer 92
Leitschaufel 80
Lenkspindel 632
Leuchtgas 64
Leuchtpunkt 154
Leuchtröhre 134
Leuchtschirm 154
Leuchtstofflampe 134
Leuchtstoffschicht 134
Leuchtturm 680
Leuchtzeichen 680
Lichtbogen 130
Lichtdruck 534, 536
Lichtgeschwindigkeit 98
Lichtinterferenz 244
Lichtsetzmaschine 528
Lichtstärke 192
Lignin 438
Linienspektrum 164
Lino-Quick-System 528
Linotype 528
Linse, elektrische 158
Linse, elektrostatische 174
Linse, magnetische 158
Linsenfehler 182
Linters 488
Lochkamera 180
Lochkarten 368
Lochleibung 290
Lochziegel 274
Log 682
Lokomotive 646, 648, 650
Löschdämpfung 394
Löschwasser 32
Lötstelle 34
Lötstift 124
Loxodrome 680, 704
Luftballon 48
Luftdruck 256
Luftfederung 626
Luftfeuchtigkeit, 36, 332
Luftkissenfahrzeug 708, 710
luftleer 10
Luftsack 48
Lunge, eiserne 562
Lupe 172
Lurex-Garn 482

M

magisches Auge 150
Magnetfeld 90, 92
Magnetkompaß 682, 684
Magnetostriktion 238
Magnetron 106
Magnettonverfahren 392
Mähbalken 548
Mähdrescher 548
Mahlanlage 454
Makromolekül 442
Malteserkreuz 220
Manila 478
Manilafaser 478
Margarine 458
Markenbutter 458
Markierungsfunkfeuer 706
Masche 504
Maschenware 504
Maschine, dieselelektrische 648
Maschinenöl 60

Maschinensatz 528
Maser 108
Masse 248
Masselbett 410
Mater 530
Mattscheibe 180
mauern 284
Mauerstein 284
Mauerziegel 284
Maulbeerbaum 482
Maulbeerseide 482
Maurerhammer 284
Meeressaline 460
Megaelektronenvolt 16
Mehl 454
Mehrscheibenkupplung 608
Membran 44
Membran, semipermeable 24
Membranpumpe 44
Messaline 498
Meßband 242
Meßlatte 242
Metallfaden 482
Metazentrum 674
Meterkilopond 14
Methode, optische 242
Methode, trigonometrische 242
Microwave 108
Mikroskop 172
Milchzucker 458
Millibar 256
Mindestoktanzahl 66
Mine 384
Minenspitze 384
Mineralöl 66
Minutenrad 250
Mischbild 216
mitschwingen 234
Mitteldruckstufe 72
Mittelfrequenz 98
Modul, hydraulischer 276
Modulation 102
Mohärwolle 480
Molekül 18, 22, 36
Molekularschwingungserzeuger 108
Moleskin 498
Molkereibutter 458
Monophoto 528
Monotype 528
Montgolfiere 48
Moorwald 56
Moped 586
Morse 144
Morsetelegraph 140, 144
Mörtel 284
Motorrad 586
Motorroller 586
Mühlrad 78
Müllerei 454
Münzprüfer 396
Münzspeicherwerk 403
Musahanf 478
music-box 402
Musikautomat 402
Musselin 496
Mylar 482

N

Nachrichtentechnik 140
Nachtglas 178
Nähmaschine 352
Narkose 556
Narkoseapparat 556
Narkotikum 556
Naßfeuerlöscher 32
Natriumbicarbonat 32
Natronsulfitzellstoff 484
Navigation 680, 682
Negativ 230
Negativ-Positiv-Verfahren 200–204
Netzgerät 114
Netzhaut 170
Neutron 84
Niederdruckdampfheizung 312
Niederdruckstufe 72
Niederfrequenz 98
Niederfrequenzverstärkerstufe 114
Niederfrequenzverstärkung 102
Niete 290
Nitrocellulose 442
Nobel, Alfred 568, 570
Nockenhebel 360
Nokton 182
non iron 524
Nordpol 90
normalsichtig 170
Normkubikmeter 64
Novar 182
NTSC-System 198
Nukleon 84
Nullpunkt, absoluter, 34
Nurflügelflugzeug 686
Nylon 490

O

Oberflächenwasser 264
Oberhaut 452
Obermaschinerie 408
Oberschwingung 240
Oberton 240
Objektiv 180, 182, 184, 186, 192
O-Bus 664
Offenzeit 188
Öffnungsverhältnis 192
Offsetdruck 534
Oktanzahl 68
Öldiffusionspumpe 12
Omnibus 664
Orgelpfeife 240
Orthicon 154
orthochromatisch 230
Orthodrome 680, 704
orthopanchromatisch 230
Ortsamt 142
Osmose 24
Ostwald, Wilhelm 82
Ottomotor 588, 590, 592
Oxygenstahl 414

P

Packung 318
Panamabindung 498
panchromatisch 230
Pancolar 182
Pantar 182
Papier 440
Papyrusstaude 440
Paraboloid 638
Parfümzerstäuber 10
Patentlog 682
Paternoster 306
Patronenfüllhalter 382
Pech 60, 66
Peltonturbine 78, 80
Pendel 250
Perbunan 434
Perforation 218
Periodensystem 20
Perlon 490
Pfeife 240
Pferdestärke 14
Pfette 288
Pfettendach 288
Pflasterbahn 664
Pflug 546
Phasenverschiebung 98
Phon 232
Photoapparat 180
Photoeffekt 132
Photoelement 132, 210
Photomultiplier 148
Photowiderstand 132, 210
Photozelle 132
Pilgerschrittverfahren 418
Planar 182
Plasma, thermisches 130
Plateauversenkung 408
Platine 416
Platten 274
Plattenspieler 386
Plexiglas 426
Poeschelring 48
Polarisation 96
Polaroid-Land-Colorfilm 204
Polrad 94
Polsterdruck 710
Polterbank 420
Polyesterfilm 482
Polykondensation 442
Polymerisation 442
Polystyrol 442

Polyvinylchlorid 442
Popelin 496
Porocrêpe 436
Portlandzement 276
Porzellan 428
Positiv 230
Potential 90, 120
Potenzflaschenzug 298
Praktikable 408
Preßdachziegel 274
Presse, hydraulische 42
Presse, mechanische 42
Preßhefe 54
Preßlufthammer 300
Preßschweißung 292
Primärelement 96
Primärspule 122
Prisma 178
Prismenfernglas 178
Profileisen 416
Projektionsgerät 226
Projektionsgeschwindigkeit 218
Projektionswand 220
Propeller 686
Propellerturbine 80
Propeller-Turbinen-Luftstrahltriebwerk 696
Prospektzug 408
Proton 84
PS 14
Puffergefäß 42
Pulmomat 558, 562
Pulmotor 562
Pumpe 44
Pumpenwarmwasserheizung 310
Punktschweißen 292

Q

Quarzuhr 252
Quecksilber 34
Quecksilberdampf-Diffusionspumpe 12
Quecksilberdampfstrahlpumpe 12
Quecksilbersäule 34, 256
Quecksilberschalter 126
Quecksilberthermometer 34
Quellwasser 264

R

Radar 146
Radarprinzip 238
Radarwellen 146
Radaufhängung 624, 626, 628
Radialturbine 80
Radierung 532
Radioaktivität 574
Radionar 182
Raffination 60
Rakete 712
Raketenantrieb 712
Raketentriebwerk 694
Ramie 476
Rampe 408
Randstrahl 182
Raoultsches Gesetz 26
rapid iron 524
Rasierspiegel 168
Raspador 478
Rast 410
Rastenhaken 320
Rasterpunkt 152, 195
Rauchgas 70
rauhen 508
Raumwelle 114
Rauschen, thermisches 108
rauschfrei 108
Reaktionskraft 580
Reaktionsturbine 74
Reaktor 84
Rechenanlage, elektronische, programmgesteuerte 374
Rechenmaschine 366
Rechenprogramm 376
Rechenschaltung 372
Reduktionsverfahren 242
Reduzierwalzwerk 418
Reflektor 638
Reflexion 164
Reflexionsgesetz 168
Refraktor 176
Regelorgan 40
Regenbogen 164
Registrierkasse 364
Reglette 526
Reichweite, quasiopt. 152
Reihenmotor 588
Reinigung, chem. 522
Reißleine 700
Reißverschluß 512
Reißwolle 480
Relais 124
relative Helligkeit 192
Reomar 182
Reservedruck 510
Resistron 154
Resonanz 234, 240
Resonanzeffekt 234
Retorte 26
Reyon 486, 488
Richtungsgeber 80
Riegel 320
Rieselfeld 272
Riesler 268
ringförmig 18
Ringofen 274
Ringspinnmaschine 492, 494
Ripsbindung 498
Rohbogen 542
Rohbraunkohle 68
Rohdraht 420
Roheisen 410, 412
Rohkautschuk 432
Rohöl 60
Rohporzellan 428
Rohr, geschweißt 418
Rohr, nahtlos 418
Röhre 104, 106
Röhrendiode 104
Röhrenofen 60
Röhrentriode 104
Rohrherstellung 418
Rohrzucker 456
Rohsekt 468
Rolle 298
Rolltreppe 672
Röntgenapparat 554
Röntgenröhre 554
Röntgenstrahlen 136
Röntgentherapie 554
Roßlenkung 632
Rotationsdruckmaschine 530
Rotor 94
Rotorblatt 692
Rotorpumpe 12
Rotverschiebung 236
Rübenvollerntemaschine 550
Rückkopplungsschaltung 102
Rückspiegel 168
Rückstoßlader 572
Rücktrittbremse 582
Ruhemasse (des Elektrons) 86
Rundfunkempfänger 114
Rundhorizont 406, 408
Rundkettenwirkmaschine 506
Rundpumpbildner 462
Rundwirkmaschine 506

S

Saccharomyces 54
Saline 460
Salmiakelement 96
Salpeterzellstoff 484
Samenfaser 474
Sammellinse 170, 182
Sandfilter 268
sanforisieren 508
Satin 498
Satzobjektiv 186
Sauerteig 54
Saughöhe 44
Saugventil 44
Saxomat 610
Schacht 410
Schachtofen 274
Schafwolle 480
Schall 232
Schalldruck 232

Schallgeschwindigkeit 688
Schallplatte 390
Schalter 126
Schalthebel 126
Schaltkupplung 610
Schamotte 70, 274
Schappeseide 482
schären 500
Schärfentiefe 208
Schaum 32
Schaumbetonstein 284
Schaumgummi 436
Schaumlöschgerät 32
Schaumwein 468
Scheibenbremse 636
Scheibenkupplung 610
Scheinwerfer 638
Schiebebühne 406
Schieber 72, 318
Schießpulver 566
Schiff 674
Schiffahrtsweg 294
Schiffskreisel 576
Schiffsschraube 678
Schischlepplift 666
Schlacke 410, 412
Schlackenabzug 70
Schlag, elektrischer 120
Schleifkontakt 94
Schlepper 544, 546
Schlitzverschluß 190
Schlüssel 320, 322
Schlüsselbart 320
Schmalfilmkamera 218
Schmelzdraht 128
Schmelzschweißung 292
Schmieröl 26, 66
Schnarre 324
Schneckenlenkung 632
Schnee 32
Schneekristall 22
Schneerohr 32
Schneiderleinen 496
Schneidmaschine 542
Schnellgang 612
Schnittbildentfernungsmesser 216
Schongang 612
Schornstein 52
Schrägkammerofen 64
Schrägrohrkessel 70
Schraube 290
Schraubenachse (Kristall) 22
Schraubenfederung 624
Schraubengewinde 290
Schreibkopfsystem (IBM) 362
Schreibmaschine 360, 362
Schrift 526
Schriftkasten 526
Schrotstufen 454
Schub 712
Schubankeranlasser 598
Schubdüse 694
Schubschraubtriebanlasser 598
Schukostecker 326
Schurwolle 480
Schußdichte 498
Schußfaden 496
Schütteltisch 542
Schutzgas 126
Schutzkontakt 326
Schwarzpulver 566, 568
Schwarzweißfilm 230
Schwebeachse 628
Schwebefähigkeit 692
Schwebegerät 708
Schwebestoff 268
Schweiß 36
schweißen 292
Schwerebeschleunigung 248
Schwerkraftheizung 308
Schwingachse 628
Schwingmetallkupplung 650
Schwingquarz 252
Schwingung, höchstfrequente 106, 108
Schwingungsbäuche 240
Schwingungsknoten 234, 240
Schwungrad 42
Schwungscheibe 72
Segelflugzeug 690
Segeln 676
Sehwinkel 172
Seide 482
Seide, wilde 482
Seidenleim 482
Seife 516
Seilbahn 666
Seilzugbetrieb 668
Sekt 468
Sektorenblende 218
Sekundärelement 96
Sekundärspule 122
Selbstauslöser 188
Selbstinduktion 98
Selbstverstärkung 636
Selbstwählferndienst 142
Selen 228
Selfaktor 492
Semaphor 140
Sender 102
sengen 500, 508
Senklot 284
Senkrechtflug 692
sensibilisieren 230
Sensibilisierung 228
Septon 182
Servo-Bremse 636
Sesselbahn 666
setzen 526
Setzerei 526, 528
Setzmaschine 528
Setzschiff 526
Sextant 680, 682
Sicherheitsschloß 322
Sicherheitssprengstoff 570
Sicherheitszündholz 358
Sicherung 128
Sicherungsautomat 128
Sicherungspatrone 128
Siebdruck 538
Siedepunkt 34
Siemens-Martin-Ofen 412
Siemens-Martin-Stahl 412
Silicatmodul 276
Siliciumphotoelement 132
Silo 454
Sisal 478
Sisalfaser 478
Skopar 182
Solagon 182
Solenoid 90
Solinar 182
Sorelzement 282
Spaltprodukt 84
Spannbeton 280
Spannung 96
Spannung, thermoelektrische 34
Spannungsreihe 96
Spannverschluß 188
Sparre 288
Sparrendach 288
Speicher 342
Speiseeis 472
Spektralapparat 164
Spektralfarbe 164
Spektrallinie 164
Spektrum 164
Sperrstift 322
Spiegel 168, 638
Spiegelebene (Kristall) 22
Spiegelreflexkamera 180
Spiegelteleskop 168
Spielautomat 400
Spindellenkung 632
Spindelöl 60
Spindelpresse 42
Spinnerei 492, 494
Spitzenwirkung 304
Splint 290
Sprengstoff 568, 570
Spreu 548
Sprungkamera 180
Spulendurchmesser 394
Spülkasten 330
Spülrohr 330
Stabmagnet 90
Stadtentwässerung 272
Stadtgas 64, 314
Stahl 412, 414
Stahlbau 290
Stahlbeton 280
Stahlstich 532

Ständer 94
stärken 524
Starrachse 628
Stator 94
Staubsauger 350
Staudruck 10
Staudruckmesser 682
Staustrahleffekt 676
Staustrahltriebwerk 694
Steckdose 326
Steg 526
Steg (Getriebe) 584, 616
Steindruck 534
Steinkohlendestillationsgas 64
Steinsalz 460
Steinsalzgewinnung 460
Steinsalzproduktion 460
Steinsalzsole 460
Stellwerk 658, 660
Stengelfaser 476
Sterblingswolle 480
Sternmotor 588
Steuerkörper 40
Steuersack 48
Stimmgabel 240
Stoff 496
Stoff, nicht verdampfender 26
Stoff, verdampfender 26
Stopfbüchsenbrille 318
Stopfbüchsenraum 318
Stoßdämpfer 328, 630
Strahler, schwarzer 30
Strahlpumpe 12
Strahltriebwerk 76, 694 ff.
Strahlung, langwellige 30
Strangpresse 274
Strangpreßverfahren 418
Straßenbahn 664
Straßenbrücke 294
Streckenmessung 242
Streckspinnverfahren 492, 494
Streichbaum 496
Streichgarn 492
Strichrauhung 510
Strickerei 504, 506
stroboskopische Erscheinung 162
Strohbergung 552
Strom, elektrischer 90
Strömungsgeschwindigkeit 10
Strukturformel 18
Stundenrad 250
sublimieren 38
Subskala 702
Substanz, fluoreszierende 156
Substanz, waschaktive 516
Subtraktion 366
Südpol 90
Sulfitzellstoff 484
Summenformel 18
Summicron 182
Summilux 182
Superheterodynempfänger 114
Superorthicon 154
Symmetrieeigenschaft (Kristalle) 22
Symmetriezentrum 22
Synchrongetriebe 614
Synchrotron 138
Synthesekautschuk 434
synthetisch 68

T

Tabak 470
Tabakware 470
Tachometer 644
Taft 496
Talsperre 266
Talstation 666
Tankgärverfahren 468
Tastenfeld 360
Tastenkasse 364
Tauchsieder 340
Taumelscheibe 692
Taupunktmesser 36
Taurotte 476
Teer 66, 450
Teigauflockerungsmittel 54
Telegraph 140
Telegraphie 144
Telenegativ 186
Teleobjektiv 186
Telephon 142
Telepositiv 186
Temperatur 36
Temperaturfühler 40
Temperaturmeßgerät 34
Temperaturregler 40
Temperguß 410
Tertiär 56
Tessar 182
Tetrachlorkohlenstoff 32
Tetralöscher 32
Textildruck 510
Textilfärberei 510
Theater 406
thermic-Regler 382
Thermoelement 34
Thermometer 34
Thermosflasche 296
Thermostat 40
Thomas-Stahl 412
Tiefdruck 532
Tiefenschärfe 208, 216
Tiegeldruck 530
Tierhaar 480
Tochterkompaß 684
Todd-AO-Verfahren 224
Toilette 330
Tomographie 554
Ton 274
Tonarm 386
Tonband 392
Tonbandgerät 392, 394
Toner 228
Tonne 680
Tonnengewölbe 286
Tonschneider 274
Toeplersche Schlierenmethode 160
Torr 12, 256
Totalreflexion 178
Totpunkt 72
Tragflügel 10, 686
Transformator 122
Transistor 102, 112
Transportband 88
Transportgreifer 218
Traubenmost 466
Traubenzucker 54
Treibgas 26, 66
Trennschärfe 114
Trennwand, halbdurchlässige 24
Trester 466
Triebwerk 694
Trieur 454
Trinkwasser 268
Triode 102, 104
Triotar 182
Tripelpunkt 38
Triplett 182, 186
Trockeneis 38
Trockenlöscher 32
Trommel 70
Trommel, rotierende 28
Trommelwaschmaschine 518
T-Rotor 94
Tubenkabel 140, 152
Tuchbindung 496
Tunnelofen 274
Turbinen-Luftstrahltriebwerk 696
Turbokompressor 46, 76
Turboverdichter 334
Turm 408
Turmdrehkran 302
Türöffner 326
Türschließer 328
Türschloß 320
Typenhebel 360, 362
Typenhebelkopf 360

U

Überbau 294
Überdruckabstufung 74
Überdruckkammer 88
Überdruckturbine 74
Überlandleitung 118
Überschallgeschwindigkeit 688

Übersetzungsprogramm (für programmgesteuerten Rechner) 378
übersichtig 170
Uhr 250
Ultrahochvakuum 12
Ultraschall 238
Ultraschallwelle 238
Ultron 182
Umkehrpunkt 72
Umkehrverfahren 201
Umlaufblende 220
Umspanner 122
Unruh 250
Unschärfekreis 208
Unterbau 294
Untermaschinerie 408
Uran 84

V

Vakuum 12
Vakuumdestillation 26
Valenz 20
Van-de-Graaffscher Generator 88, 90
van-der-Waalssche Kraft 22
Variometer 702
Varioobjektiv 186
Velveton 498
Ventil 72, 318
Ventilator 334
Verbindung, anorgan. 18
Verbindung, organische 18
Verbrennungskraftmaschine 588
Verbrennungsprozeß 32
Verbundmaschine 72
Verdichter 76, 334
Verdichtungshub 46
Verdunstung 36
Verdunstungskühle 36
Vereisung 36, 698
Verformungsarbeit 42
Vergaser 10, 600, 602
Vermessung 242
Verschluß (photogr.) 188, 190
Versenkbühne 406, 408
Vidicon 154
Viertaktmotor 588
Vikunjawolle 480
Viskoseverfahren 486
Viskosität 328
V-Motor 588
Volldrehpflug 546
Vollwaschmittel 516
Vorgarn 492
Vorlaufwerk 188
Vormauerziegel 284
Vorspinnerei 492, 494
Vortriebsenergie 712
Vulkanisation 434, 436
vulkanisieren 432

W

Waage 248
Waagschale 248
Wagenspinner 492
Wählmotor 404
Walzenstraße 416
Walzwerk 416, 418
Wand, semipermeable 24
Wanderfeldröhre 108
Wanderroste 70
Wandler 122
Wandstrahler 344
Wankel-Motor 594
Warenautomat 398
Warenbaum 496
Wärmeabgabe 36
Wärmeäquivalent 16
Wärmedurchlaßwiderstand 296
Wärmeenergie 16, 36
Wärmegleichgewicht 36
Wärmeisolator 296
Wärmekapazität 296
Wärmekonvektion 296
Wärmeleitung 296
Wärmeleitzahl 296
Wärmemenge 16
Wärmepumpe 316
Wärmeschutz 296
Wärmestrahlung 30, 296
Wärmetauscher 338
Warmwasserheizung 308, 310
WAS, anionaktive 516
WAS, kationaktive 516
WAS, nichtionogene 516
waschen 514
Wäscheschleuder 28
Waschmaschine 518
Waschmittel 514, 516
Wasserabsonderung 36
wasserabstoßend 524
Wasseraufbereitung 268
Wassergas 64
Wasserhahn 318
Wasserkocher 340
Wassermessung 262
Wasserrohrkessel 70
Wasserrotte 476
Wasserspülung 330
Wasserstoff 20
Wasserstoffbrückenbindung 22
Wasserstrahlpumpe 10
Wasserturbine 78, 80
Wasserversorgung 270
Wasserzähler 262
Watt 14
Webblatt 496
Weberei 496, 500, 502
Weber-Fechnersches Gesetz 232
Webschütze 496
Webstuhl 496, 502
Wechselgetriebe 612
Wechselobjektiv 186
Wechselspannung 98
Wechselstrom 92, 98, 100, 102
Wehnelt-Zylinder 156
Wehr 266
Weiche 656
Weichporzellan 428
Wein 466
Weinhefe 466
Weißtöner 516
Weitwinkelobjektiv 186
Welle, elektromagnetische 98, 100, 102
Wellenlänge 100
Werg 476
Westinghouse-Bremse 652
Wettersprengstoff 568
Wicklung 94
Wicklungssinn 90
Widerstand, magnetischer 90
Widerstandsthermometer 34
Wiegependelwaage 248
Winderhitzer 410
Windfrischverfahren 414
Winsel 82
Wippkran 302
Wirbelstärke 686
Wirkerei 504, 506
Wirkmaschine 506
Wolframdraht 354
Wolframsulfat 354
Wolle 480
wollgestrickt 480
Wucht 14
Würze 464

X

Xenar 182
Xenon 182
Xerographie 540
X-Strahlen 136

Y

Ysarex 182

Z

Zähigkeit 328
Zahnradantrieb 668
Zanella 498
Zeilensetzmaschine 528
Zeitlupenaufnahme 218
Zeitrafferaufnahme 218
Zellstoff 484
Zellwolle 486, 488
Zement 276, 278, 282
Zementsack 276
Zementsilo 276

Zentralbatterieschaltung 142
Zentrifugalkraft 28
Zentrifuge 28
Zerfall, radioaktiver 574
Zerstreuungslinse 182
Zerstreuungsscheibchen 208
zetteln 500
Ziegelei 274
Ziegelherstellung 274
Ziegelmehl 274
Ziegelstein 274
Zieheisen 420
Ziehstein 354
Ziehtrommel 420
Zimmerofen 336
Zinkelektrode 96
Zinkoxid 228
Zinksilikat 134
Zinksulfid 134
Zisterne 264
Zoom-Lens 186
Zucker 456
Zuckerrohr 456
Zuckerrübe 456, 550
Zugbremse 652
Zuhaltung 320
Zulegeverfahren 242
Zünder 570
zündfreudig 60
Zündfunke 604
Zündholz 358
Zündholzkuppe 358
Zündholzschachtel 358
Zündkerze 606
Zündmasse 358
Zündverteiler 604
Zungenpfeife 240
Zusammenstoß, thermischer 30
Zusammentragmaschine 542
Zwangsbremsung 654
Zwangsdurchlaufkessel 70
Zwangsumlauf 310
Zweitaktmotor 590
zwirnen 500
Zwischenbildebene 172
zyklisch 18
Zyklotron 138
Zylinder 72
Zylinderöl 60
Zylinderschloß 322

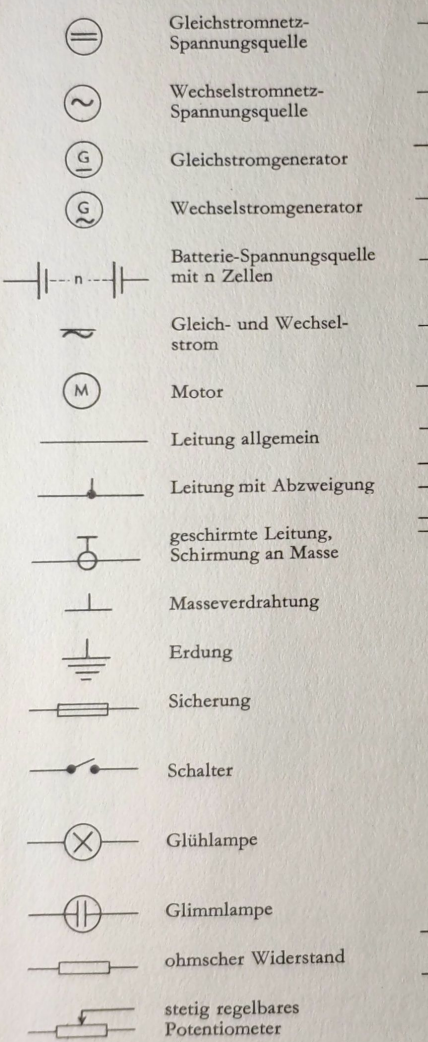
Bei der Bearbeitung dieses Buches haben uns zahlreiche Personen, Institutionen und Firmen mit Unterlagen, Hinweisen und bei der Durchsicht der Tafeln geholfen und so zum Gelingen des Buches beigetragen.

Zu besonderem Dank verpflichtet sind wir

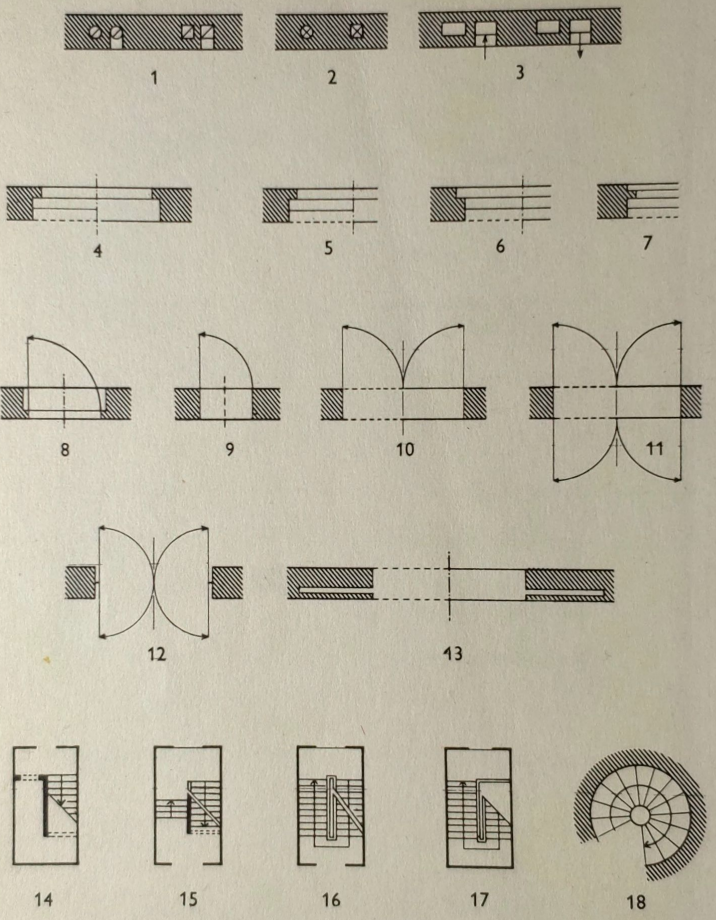
Adam Opel AG., Rüsselsheim (Main)
Alfred Teves Maschinen- und Armaturenfabrik KG, Frankfurt am Main
Alweg-GmbH., Köln
Bayerische Motorenwerke Aktiengesellschaft, München
BKS Gesellschaft m. b. H., Velbert (Rheinl.)
Bopp & Reuther GmbH, Mannheim-Waldhof
Braun Aktiengesellschaft, Frankfurt am Main
Chemische Werke Hüls Aktiengesellschaft, Marl
Compur-Werk GmbH & Co., München
Deutsche Bundesbahn, Bundesbahndirektion Karlsruhe; Bundesbahnzentralamt, München
Deutsche Philips G. M. B. H., Hamburg
Ernst Leitz GmbH, Wetzlar
Fichtel & Sachs AG, Schweinfurt
F. W. Schilling, Glockengießerei, Heidelberg
G. M. Pfaff AG, Karlsruhe-Durlach
Günther Wagner Pelikan-Werke, Hannover
Heckler & Koch G. m. b. H., Oberndorf/Neckar
Henkel & Cie GmbH, Düsseldorf
IBM Deutschland Internationale Büro-Maschinen Gesellschaft mbH, Sindelfingen
Ingenieurbüro B. Hoehne, Heidelberg
Ingersoll-Rand GmbH., Düsseldorf
Junker & Ruh AG, Karlsruhe
Junkers & Co. GmbH., Wernau/Neckar
Professor Dr. Eduard Justi, Institut für Technische Physik der Technischen Hochschule Braunschweig
Landes-Lehr- und Forschungsanstalt für Wein- und Gartenbau, Neustadt (Weinstraße)
Professor Dr.-Ing. H. Lehmann, Institut für Steine und Erden der Bergakademie Clausthal, Clausthal-Zellerfeld
Linotype Gesellschaft mit beschränkter Haftung, Frankfurt am Main
National Registrier Kassen Augsburg GmbH, Augsburg
P. Gossen & Co. G. m. b. H., Erlangen
Polaroid GmbH, Frankfurt am Main
Rank Xerox GmbH, Düsseldorf-Oberkassel
Richard Kohnke, Fallschirmwerk, Heidelberg-Ziegelhausen
Professor Dr.-Ing. Edgar Rößger, Technische Universität Berlin, Lehrstuhl für Luftfahrzeugführung, Berlin-Charlottenburg
Setzmaschinenfabrik Monotype Gesellschaft m. b. H., Frankfurt am Main
Siemens-Electrogeräte Aktiengesellschaft, München
Siemens-Schuckertwerke Aktiengesellschaft, Erlangen
Verband Deutscher Sektkellereien e. V., Wiesbaden
Wiegand Apparatebau-GmbH, Karlsruhe

Schaltzeichen in der Elektrotechnik

In vielen elektrischen Apparaturen, besonders in elektronischen Geräten, ist die Anzahl der Bauteile derart groß und die Führung der Leitungen derart schwer zu übersehen, daß zur Verbesserung der Übersicht in Schaltplänen Symbole (Schaltzeichen) verwendet werden müssen; eine Auswahl dieser Zeichen ist im folgenden dargestellt:



Auswahl der in Bauzeichnungen üblichen Symbole für Bauteile



1 Rauchrohre. 2 Gasabzugsrohre. 3 Luftkanäle. 4 Einfachfenster (mit und ohne Brüstungsnische). 5 Kastenfenster. 6 Anschlag außen. 7 Doppelfenster. 8 Tür mit Anschlag. 9 Tür ohne Anschlag. 10 Rechts- bzw. Linkstür. 11 Doppeltür. 12 Pendeltüren. 13 Schiebetür. 14–17 zweiläufige Treppen: 14 Keller, 15 Erdgeschoß, 16 Obergeschoß, 17 Dachgeschoß. 18 Wendeltreppe.

Archived by

3.S.J.T.

Winnenden, 24.12.2022